

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ  
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ВЕРСТАТІВ ТА МАШИН

«На правах рукопису»

УДК \_\_\_\_\_

До захисту допущено

В.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ О.В.Шевченко

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

## Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра  
зі спеціальності 131 Прикладна механіка

на тему: Покращення технічних характеристик  
фрезерного верстата

Виконав (-ла): студент (-ка) \_\_\_\_\_ ІІ курсу , групи МВ – 81мп

\_\_\_\_\_ Роман О. М.

(прізвище ім'я по батькові)

(підпис)

Науковий керівник \_\_\_\_\_ Доцент, Ковальов В. А.

(посада, науковий ступінь та вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультант з розділу \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь та вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент:

\_\_\_\_\_ (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Київ - 2019

**Національний технічний університет України**  
**“Київський політехнічний інститут**  
**імені Ігоря Сікорського”**  
**Механіко-машинобудівний інститут**  
**Кафедра конструювання верстатів та машин**

Рівень вищої освіти другий (магістерський) за освітньо-професійною  
програмою

Спеціальність 131 Прикладна механіка  
Спеціалізація «Технології комп'ютерного проектування верстатів, роботів і машин»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В.о. завідувача кафедри

О.В.Шевченко

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ**

Роману Олегу Михайловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації \_ Покращення технічних характеристик фрезерного версту

науковий керівник дисертації \_\_доц. Ковальов Віктор Андрійович\_\_

( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від **“31” жовтня 2019 року № 3800-с**

2. Термін подання студентом дисертації \_\_17.11.2019р

3. Об'єкт дослідження \_\_Фрезерний верстат з ЧПК

4. Вихідні дані \_Технічна документація на фрезерний верстат

5. Перелік завдань, які потрібно розробити \_Виконати аналіз верстатів фрезерної групи та описати базовий верстат. Виконати необхідні розрахунки для покращення технічних характеристик верстата. Проаналізувати та вибрати сучасні високопродуктивні інструменти. Розробити конструкцію пристосування для типової корпусної деталі. Використати програмне забезпечення фірми Heidenhain для розробки програми обробки деталі на

верстаті та кругові датчики для підвищення точності позиціювання виконавчих органів.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Загальний вигляд верстата. Кінематична схема. Шпиндельний вузол. Механізм затиску. Магазин інструментів. Пристосування. Плакат для ілюстрації компоновки корпусу сучасного літака. Креслення шпангоута. Плакат, присвячений вибору датчиків та інструментів. Плакат по розробці програми обробки деталі.

7. Орієнтовний перелік публікацій \_ Пігур М.Р., Роман О.М. - студенти, Ковальов В.А., к.т.н. доцент «КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ЩУПІВ ДЛЯ ВЕРСТАТІВ З ЧПК»/ // Інновації молоді в машинобудуванні. За заг. ред. Данильченка Ю.М. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2019. – № 1.– Режим доступу: <http://imm-mmi.kpi.ua/proc/article/view/167729>; Роман О.М., студент, наук. кер. Ковальов В.А, к.т.н., доц. ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ КУТОВИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ У ВЕРСТАТАХ З ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ / Тези доповідей всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів «ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ - МАШИНОБУДУВАННЮ» секція "Конструювання верстатів та машин" / Укладач Кравець О.М. – К: НТУУ "КПІ", 2018. – 80 с.

#### 8. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання \_\_20.09.2018р

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Виконати аналіз верстатів фрезерної групи та описати базовий верстат	грудень 2018	
2	Виконати необхідні розрахунки для покращення технічних характеристик верстата.	лютий 2019	
3	Аналіз та вибір високопродуктивних інструментів	квітень 2019	
4	Використати програмне забезпечення фірми Heidenhain для розробки програми обробки деталі на верстаті	червень 2019	
5	Вибрати високоточні кругові датчики та щупи	вересень 2019	
6	Виконати креслення відповідно до завдання	жовтень 2019	
7	Розробити і скомпонувати плакати	листопад 2019	
8	Оформити розрахунково-пояснювальну записку	грудень 2019	

Студент \_\_\_\_\_ Роман О.М. \_\_\_\_\_  
( підпис )

(прізвище та ініціали)

Науковий керівник дисертації \_\_\_\_\_ Ковальов В.А

## Анотація

Дана магістерська дисертація присвячена покращенню технічних характеристик фрезерного верстата ГФ2171 шляхом збільшення жорсткості вузла шпинделя.

В даній дисертації проведено заміну цангового замка на кульковий, а також встановлена оптимальна відстань між опорами шпинделя.

Робота налічує 110 сторінок, 47 рисунків, 1 таблицю, 18 джерел літератури в записці, 7 креслень формату А1, 2 плакати формату А1.

## Annotation

This Master`s thesis provides increasing the technological capabilities of the milling machine GF2171 by increasing the stiffness of the spindle assembly.

This work is about replacement of the chin lock on the ball, as well as the optimal distance between the spindle supports is set.

The document content is: 110 pages, 47 drawings, 1 tables, 18 resources, 7 drawings of A1, 2 posters of A1.



## Зміст

Вступ.....	6
1. Огляд і аналіз фрезерних верстатів .....	7
1.1 Фрезерні верстати .....	7
1.2 Фрезерні верстати з числовим програмним керуванням .....	14
1.3 Механізми автоматичної зміни інструменту.....	19
1.4 Пристрої для затиску інструменту в шпинделі.....	27
1.5 Аналіз вузлів конструкції фрезерних верстатів з ЧПК .....	34
1.6 Сучасні фрезерні верстати .....	35
2. Аніліз та удосконалення верстата з метою покращення його технічних характеристик. ....	42
2.1 Загальні відомості про верстат .....	42
2.2 Основні технічні характеристики верстата .....	43
2.3 Опис базових вузлів .....	45
2.4 Механізм автоматичної зміни інструменту.....	47
2.5 Опис роботи автооператора .....	47
2.6 Інструментальний магазин .....	48
2.7 Робочий цикл зміни різальних інструментів.....	49
2.8 Характеристики окремих вузлів верстата .....	50
3. Перевірочні розрахунки .....	53
3.1 Розрахунок шпиндельного вузла на жорсткість .....	53
3.2 Розрахунок механізму затиску інструменту .....	59
3.3 Розрахунок оптимальної компоновки коробки швидкостей .....	73
4. Інструментальне забезпечення фрезерного верстату .....	94
4.1 Кінцеві фрези .....	94
4.2 Торцеві фрези .....	97
4.3 Дискові фрези .....	99
5. Опис верстатного пристосування і принципу його роботи .....	102
Висновки .....	104
Література .....	105
Додатки.....	106
Додаток А.....	107

## Вступ

Для досягнення конкурентної переваги в розробці та виготовленні виробів необхідне постійне удосконалення виробничих процесів.

При наявності великого парку фрезерних верстатів із застарілим програмним забезпеченням актуальними є покращення їхніх технічних характеристик за рахунок заміни програмного забезпечення, використання найсучасніших інструментів провідних фірм-виробників, а також прогресивних пристосувань для підвищення продуктивності та якості виготовлених деталей. Досягнення поставленої мети в даній магістерській дисертації досягається за рахунок заміни програмного забезпечення фрезерного верстата модифікації ГФ2171 на сучасне фірми Heidenhain, яка займає провідне місце на світовому ринку по розробці програмних продуктів для верстатів з ЧПК.

До того ж ця фірма проводить велику роботу по конструюванню та виготовленню різноманітних високоточних датчиків та щупів. Використання кругових датчиків та щупів дозволяє суттєво скоротити час оброблювання та забезпечити високу точність позиціювання виконавчих органів фрезерного верстата. Все ж цього недостатньо. Без прогресивного інструментального забезпечення ефект використання вищеописаних методів невисокий. Тому в магістерській дисертації висока увага приділена оснащенню базового верстата високопродуктивними інструментами з використанням найсучасніших інструментальних матеріалів провідних спеціалізованих фірм.

В магістерській дисертації виконані необхідні розрахунки та представлені програми оброблювання типової корпусної деталі та шпангоута літака компанії Boeing, що виготовляється на підприємствах компанії.

Всі ці заходи дозволяють забезпечити конкурентну перевагу при виготовленні деталей фрезеруванням при відносно невеликих затратах на переоснащення базового верстата, що дуже важливо в умовах сьогодення нашої країни.

## 1. Огляд і аналіз фрезерних верстатів і їх основних вузлів.

### 1.1. Фрезерні верстати.

Фрезерні верстати використовуються для оброблювання плоских, фасонних поверхонь, нарізання зубчастих колес, різьб і інших поверхонь.

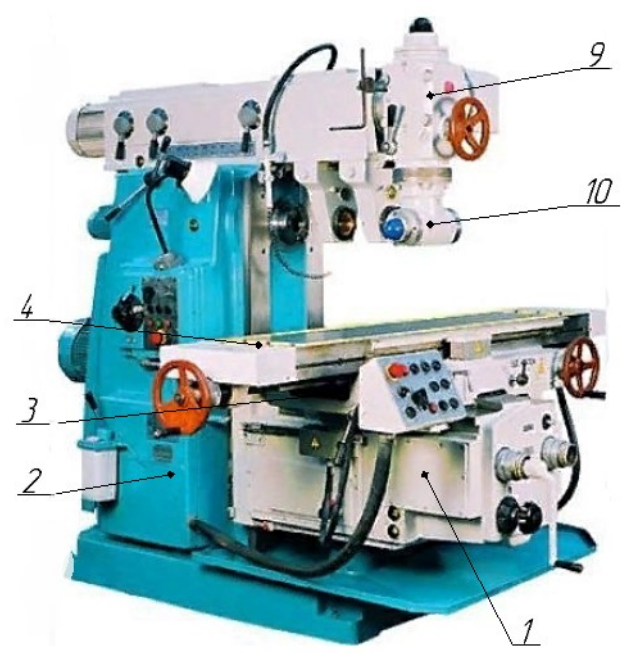
Фрезерні верстати складають до 18% загального парку металорізального обладнання. Процес фрезерування реалізується з використанням двох або трьох рухів. Головний рух різання обертання фрези, інші – рухи подачі.

В якості інструмента використовують фрези різних конструкцій. Це багатолезовий інструмент з різальними кромками, розташованими на поверхні тіла обертання або на його торці.

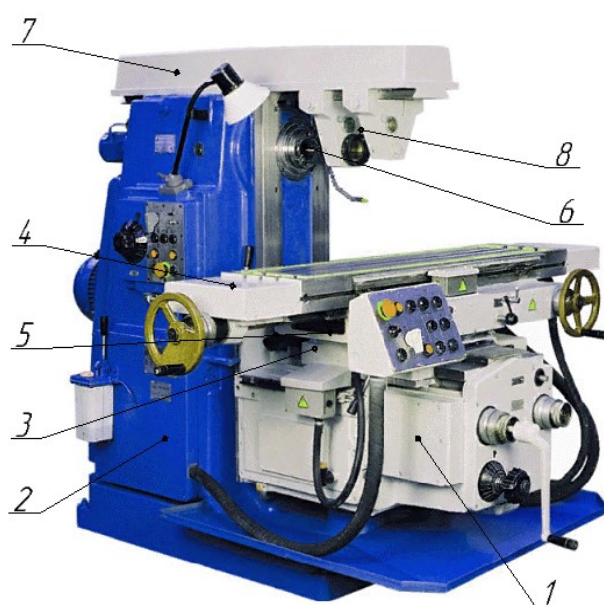
Фрезерні верстати відносяться до шостої групи відповідно класифікації ЭНИМС (табл. 1.1. [1]).

Фрезеруванням обробляють деталі різних розмірів, форми і з складними поверхнями, що обумовило розробку і виготовлення різноманітну конструкцію фрезерних верстатів. Найбільш поширеними є дві компоновки верстатів – консольна і безконсольна. В консольно-фрезерних верстатах (рис. 1.1.) є обов'язково наявність консолі 1, що переміщується по вертикальних напрямних станини 2. Консоль має горизонтальні напрямні для переміщення санчат 3 із столом 4. На столі закріплюємо зоготовку у відповідному пристосуванні.

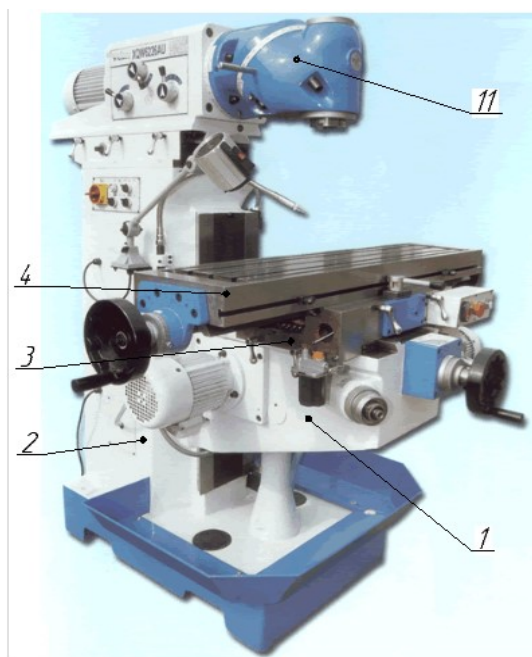
1. 1. 1. В консольних горизонтальних універсальних верстатах, на санчатах 3 встановлюють поворотну плиту 5. На плиті передбачені горизонтальні напрямні для переміщення столу 4. Розташування шпинделя 6 горизонтальне. Також на станині 2 встановлено хобот 7, який підтримує сережку. Різальний інструмент закріплюють в оправці, одна сторона якої встановлена в шпинделі, а другий кінець – в отвір сережки.



a)



b)



в)

Рис. 1. 1. Консольно – фрезерні верстати

а – широкоуніверсальний;

б – горизонтально-універсальний;

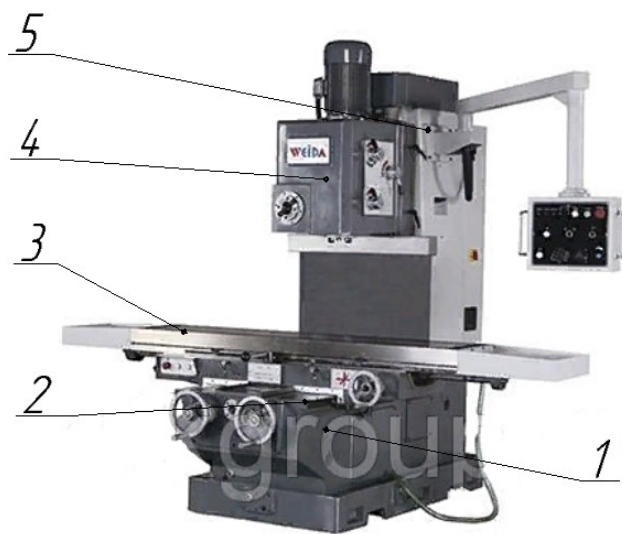
в – вертикальний;

Широкоуніверсальні горизонтально - фрезерні верстати мають в наявності ще одну головку шпинделя 9, що встановлена на висунутому хоботі. Головка має здатність провертатися під будь-яким кутом у вертикальній площині. Більше універсальності додає верстату наявність накладної фрезерної головки 10 з шпинделем, що має здатність повертатися на будь-який кут до горизонтальної площини. В даних верстатах відсутня поворотна плита.

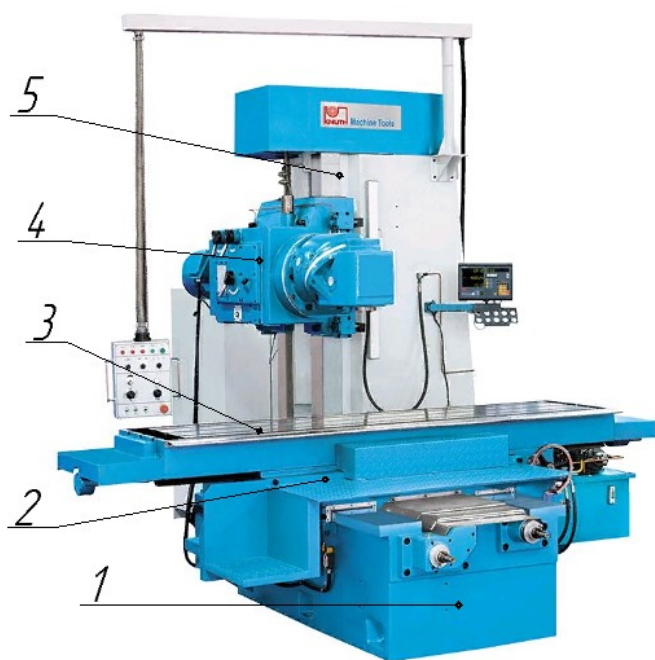
Вертикальний консольно - фрезерний верстат має вертикальне розташування головки шпинделя 11, яка має можливість повертатися у вертикальній площині. Відомі конструкції верстатів цього типу, в яких є осьове переміщення шпинделя.

1. 1. 2. В безконсольно вертикальних та горизонтально - фрезерних верстатах (рис.2), санчата 2, що несуть стіл 3, переміщуються по горизонтальних напрямних

станини 1. Шпиндельна бабка 4 переміщується по вертикальних напрямних стійки 5.



а)



б)

Рис. 1. 2. Безконсольні фрезерні верстати  
а – вертикальний;  
б – горизонтальний;

1. 1. 3. Повздовжньо - фрезерні верстати бувають одностійкові та двостійкові. Вони призначаються для оброблювання великогабаритних деталей здебільшого торцевими фрезами (рис. 1. 3.). Стіл 2 переміщується по горизонтальних напрямних станини 1. Головки шпинделів 3 переміщуються по сітках 4 порталів, що з'єднані

балкою 5. Вони можуть переміщатись також по напрямних поперечини 6, що в свою чергу може переміщуватись по напрямних порталів.

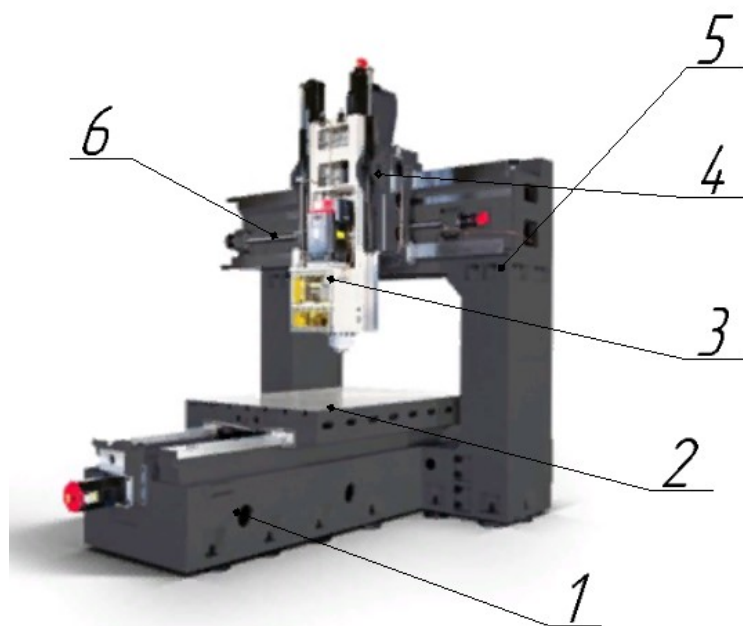


Рис.1. 3. Повздовжньо – фрезерний верстат

1. 1. 4. В масовому то великосерійному виробництві широко використовують Карусельно - фрезерні верстати (рис.1. 4.). Вони призначені для оброблювання різних поверхностей заготовок торцевими фрезами. Верстати компонуються одним або декількома шпинделями 3. В багатошпиндельних верстатах один із шпинделів використовують для установки фрези для остаточного оброблювання.

Стіл 4 переміщується відносно головки шпинделя 2 і реалізує рух подачі, що дозволяє послідовно вводити заготовки в зону оброблювання. Установче поперечне переміщення столу разом з санчатами 5 виконується по напрямних станини 6.

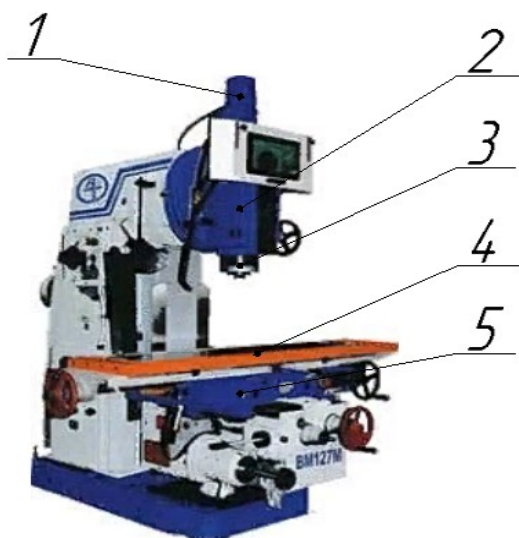


Рис. 1.4. Карусельно – фрезерний верстат

1. 1. 5. Барабанно-фрезерні верстати



(рис.1. 5.) використовують також в масовому і великосерійному виробництві для обробки поверхонь корпусних заготовок. На барабані який обертається встановлюють заготовки. При цьому реалізується рух подачі за рахунок обертання барабану. Із наявних чотирьох фрезерних головок дві верхні 3 використовуються для попереднього оброблювання, а дві нижні 1 для остаточного. Фрезерні головки встановлені на стійках 4 і вони можуть переміщуватись по вертикальних напрямних.

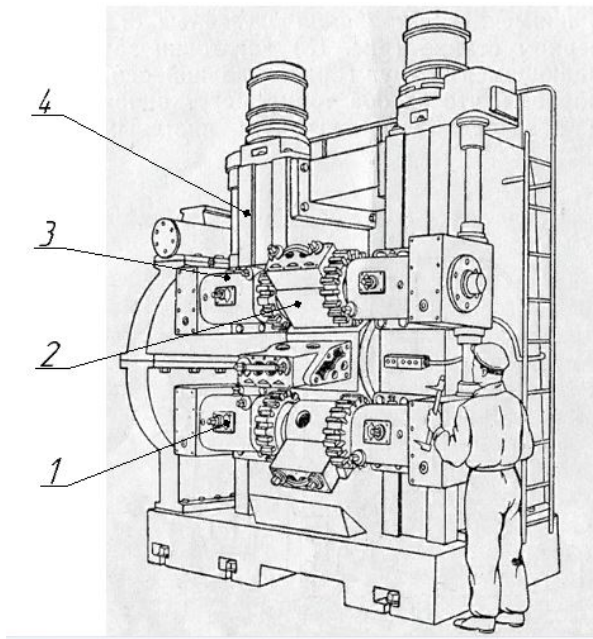


Рис. 1. 5. Барабанно – фрезерний верстат

1. 1. 6. Для фрезерування фасонних поверхонь, штампів та пресформ, лопаток турбін, копирів, кулачків і інших складних поверхонь використовують Копіювально-фрезерні верстати (Рис. 1. 6). Оброблювання виконується по копіру 4 що через копіювальний пристрій 3 забезпечує необхідне переміщення інструменту 2 відповідно фрезерної головки 1. Копірами можуть слугувати відповідні шаблони, моделі або єталонна деталь. Через копіювальний пристрій (стіл 6, траверса 7, шпиндельний вузол 8) фреза і заготовка відтворюють поверхню задану копіром у відносному русі фрези і заготовки. Копіювальне фрезерування може бути контурне



або об'ємне при контурному фрезеруванні площа копіра розташовується в площині, що паралельна або перпендикулярна фрезі. При паралельному розташуванні копіра стіл із заготовкою та копіром рухаються в повздовжньому напрямку. Відслідкування кривої копіра здійснюється вертикальним переміщенням копірного пальця та фези. При перпендикулярному розташування копіра стіл із заготовкою та копіром рухаються в поперечному та повздовжньому напрямках у відповідності до форми кривої копіру.

Крім копіювально – фрезерних верстатів широко використовуються спеціалізовані верстати, шпоночно-фрезерні, центрувальні, торцево-фрезерні та інші.

1. 1. 7. На шпоночно - фрезерних верстатах фрезерують кінцевими фрезами шпоночні пази.

1. 1. 8. На фрезерно-центрувальних верстатах виконують одночасне фрезерування торців та наступне центрування валиків для подальшої обробки на токарному верстаті.

Окрім розглянутих фрезерних верстатів промисловість випускає ще багато інших спеціалізованих агрегатних верстатів.



Рис. 1. 6. Вертикальний копіювально-фрезерний верстат

## 1. 2. Фрезерні верстати з числовим програмним керуванням.

Одним з напрямів автоматизації обробки металів в дрібносерійному і серійному виробництві, забезпечення різкого підвищення продуктивності праці, зниження вартості і підвищення якості продукції є впровадження верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК).

Завдяки впровадженню верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) у всіх галузях виробництва сприяє забезпеченню різкого зменшення вартості на одиницю продукту, підвищується продуктивність праці і зростання якості продукції

Основними перевагами верстатів з ЧПК є: остаточна обробка деталей на одному верстаті без переналадки і переустановлення, вивільнення значного числа універсальних верстатів і кваліфікаційних верстатників, скорочення термінів підготовки виробництва, скорочення потреби в спеціальному оснащенні і інструменті, усунення розмітки, скорочення браку і підвищення якості обробки. Широке застосування верстатів з ЧПК викликає значні зміни в загальній організації виробництва завдяки можливості багатOVERSTATного обслуговування, швидкої переналадки на виробництво нових виробів, інтенсифікації і якісного поліпшення виробничого процесу і скорочення циклу обробки виробів, впровадження розрахунково-технічних норм і зменшення частки важкої ручної праці.

Сучасний верстат з ЧПК є самоврядною робочою машиною, органічно пов'язаною з обчислювальною машиною, що працює у вертикальному масштабі часу і перетворює дискретні сигнали інформації в дискретні сигнали управління.

Верстат з ЧПК також є верстатом - автоматом і відрізняється лише способом перетворення інформації.

Процес перетворення інформації у верстаті - автоматі полягає в перетворенні інформації дискретних сигналів, заданих конструкторською і технологічною документацією, в безперервні (аналогові) сигнали системи управління. Йому властиві два основні недоліки: 1 - інформація одноночно перетворюється з дискретної в аналогову, що приводить до погіршень при виготовленні і

зношуванні; 2 - необхідно виготовити копії, куркульки і виконувати трудомістку наладку.

Процес перетворення інформації у верстатах з ЧПК - це перетворення дискретних сигналів в дискретних з витікаючими звідси двома основними перевагами: 1 - можливість виконання складних рухів за рахунок управління декількома координатами; 2 - абстрактний і однозначний характер інформації, що дозволяє автоматизувати процес програмування із застосуванням ЕОМ і автоматизувати в комплексі ланцюжок: проектування - програмування - виробництво.

Для комплексної обробки деталей різними видами інструментів застосовуються багатоопераційні верстати оснащені системою ЧПК, автоматичною системою і закріпленням ріжучого інструменту і деталі, що забезпечують обробку, за одну установку з різних сторін.

Для комплексної обробки складних деталей в умовах масового і великосерійного виробництва верстати - автомати об'єднують в автоматичні лінії.

1. 2. 1. Металоріжучі верстати з ЧПК класифікують:

- 1) По ступеню автоматизації: автомати, напіваавтомати.
- 2) За призначенням: одноцільові і багатоцільові.
- 3) По ступеню універсальності: спеціальні, спеціалізовані, універсальні.
- 4) По характеру виконуваних робіт: токарні, свердлувальні, шліфувальні, фрезерні, зуборізьбообробляючі.
- 5) По компоновці: вертикальні, горизонтальні, похилі.
- 6) По роду приводу: з гідро -, пневмо -, електроприводом.
- 7) По ступеню точності: Н - нормальною, П - підвищеною, В - високою, А - особливо високою, З - надвисокою. Залежно від класу точності допуски наступні: Н - 1,0; П - 0,6; У - 0,4; А - 0,25; З - 0,15.
- 8) За принципом побудови технологічного процесу: для одночасної обробки однієї

деталі (наприклад, з декількох сторін) або для одночасної обробки декількох деталей.

9) По вирішуваних технологічних завданнях: позиційні, контурні і комбіновані.

Позиційні системи ЧПК дозволяють автоматично встановлювати робочі органи в позицію, задану програмою управління (без обробки в процесі переміщення) з мінімальним часом переміщення від позиції до позиції і чисел одночасно керованих координат до 5. Позиціонування (залежно від пристрою) проводиться по двох координатах (одночасно або послідовно); третя координата - обертання шпинделя; четверта і п'ята (при необхідності) - поворот столу і рух бабці шпинделя. Ступінчаста зміна швидкості переміщення залежить від довжини шляху і необхідної точності установки.

Прямокутні системи ЧПК (різновид позиційних систем) забезпечує управління рухом ріжучого інструменту за програмою у напрямі однієї з двох взаємно перпендикулярних координат.

Контурні системи ЧПК забезпечують автоматичне переміщення робочого органу по заданій координаті (траєкторії) з контурною швидкістю (тобто швидкістю подачі робочого органу у напрямі дотичній до траєкторії в кожній точці заданого контура обробки). Контурні системи ЧПК діляться на системи управління з магнітною стрічкою і перфострічкою. Контурні системи ЧПК з перфострічкою підрозділяються за типом інтерполяції (лінійна, круг, спеціальна), типом приводу (що стежить, кроковий), числом одночасно керованих координат. Лінійні інтерполятори використовуються, коли контур обробки є сукупністю прямих ліній, розташованих під будь-якими кутами до осей координат. При круговій інтерполяції дуга кола задається одним кадром. При складній інтерполяції (лінійно - круг) криволінійний контур задається прямими і дугами кіл, що спрощує довжину программоносія.

Деякі з таких систем ЧПК містять пристрої автоматичного розрахунку траєкторії руху центру фрези (еквідистанти).

По структурі (числу потоків інформації) систем ЧПК підрозділяють на системи незамкнуті, замкнуті і такі, що пристосовуються.

Незамкнуті системи ЧПК мають один потік інформації: від прочитуючого пристрою до пристрою управління і після перетворення в кроковий двигун, що

дроселює гідророзподілювач і гідродвигун, що має зворотний зв'язок з гідророзподілювачем, а потім до виконавчого механізму. Переміщення робочого органу відповідно до заданої програми при цій системі не контролюється.

Замкнуті системи ЧПК мають два потоки інформації: 1) считувальний пристрій (СП) - пристрій управління (ПУ) - блок порівняння (БП) - дешифратор - підсилювач (ДШ) - виконавчий двигун (ВД); 2) датчик зворотного зв'язку (ДЗЗ) вимірює переміщення робочого органу - БС (зіставляє сигнал від ДОС з сигналом від СУ) - ДШ (при розбіжності вказаних сигналів коректує сигнал через підсилювач) - ІД (забезпечує по скоректованому сигналу потрібне переміщення робочого органу). Причинами розузгодження є: зазори в системі приводу, пружні деформації системи верстат - інструмент - деталь, знос інструменту, вібрації і ін.

Системи, що пристосовуються, ЧПК мають три потоки інформації, два з яких аналогічні потокам замкнутої системи. Третій потік - від датчика, який вимірює який, - або додатковий параметр обробки (віджимання інструменту, сила різання і ін.) і направляє інформацію в пристрій, що пристосовується, де вона підсумовується з інформацією від прочитуючого пристрою. При відхиленні вимірюваного параметра від заданого (залежно від зміни припуску, твердості, жорсткості заготівки, стану інструменту або верстата) подається команда на коректування процесу обробки.

Комплекси ЧПК розрізняються залежно від виду програмноносія, способів кодування інформації і передачі її в систему ЧПК.

Комплекс ЧПК з управлінням від перфострічки складається з систем підготовки програм ЧПК (систем обробки інформації) і станини, що реалізовує програму. Система підготовки програм може бути ручною і автоматизованою. Програма контролюється за допомогою автоматичних пристроїв або візуально. Достоїнства цього способу: універсальність (тобто можливість використання на багатьох верстатах), дешевий програмноносій; простота зберігання; малий об'єм перфострічки; можливість запису великого числа технологічних команд; можливість введення корекції. Інформація наноситься перфатором, а прочитується електричним, електромеханічним і фотоелектричним способами.

Комплекс ЧПК з управлінням від магнітної стрічки застосовується у верстатах з невисоким ступенем автоматизації, призначених для контурної обробки без технологічних команд; можливість введення корекції. Інформація наноситься перфратором, а прочитується електричним, електромеханічним і фотоелектричним способами. Достоїнства системи: простота, надійність і невисока вартість. Недоліки: висока вартість самої стрічки, велика її витрата і складність зберігання; неможливість введення корекції і візуального контролю. Ширина магнітної стрічки 35,4мм із записом на дев'яти доріжках (шість доріжок - для запису переміщення по осях X,Y,Z; три - для запису технологічних команд). Запис на магнітній стрічці проводиться магнітними головками.

Комплекс ЧПК з управлінням від ЕОМ використовується для управління групою верстатів з ЧПК без запису програм на перфострічку або магнітну стрічку. Програма обробки у вигляді електричних сигналів передається до системи ЧПК спрощеного типу, що має пульт зв'язку з ЕОМ. По каналу зв'язку з пам'яті ЕОМ вибирається потрібна програма і в неї вводять різні корекції.

Командні пристрої поєднують в собі елементи порівнюючих пристроїв і зворотного зв'язку; приводи подачі (гвинтові механізми, гідроциліндри, крокові і інші двигуни) забезпечують переміщення робочих органів при спрацьовуванні виконавчих механізмів.

Принципова схема програмного управління верстата з кроковим двигуном діє таким чином: пристрій для введення програми подає сигнал до підсилювача сигналів, звідти він у вигляді електричного імпульсу поступає до крокового двигуна, який працює переривисто, здійснюючи задане переміщення робочого органу при отриманні певної кількості сигналів. Залежно від ступеня автоматизації і типу системи ЧПК для верстатів прийняті наступні додаткові позначення: Ф1 - цифрова індексація і попередній набір координат; Ф2 - позиційні і прямокутні системи ЧПК; Ф3 - контурні системи ЧПК; Ф4 - універсальні комбіновані (для позиційної і контурної обробки) системи ЧПК; МФ - ЧПК, інструментальний магазин і автоматична зміна інструменту (АЗІ); РФ- ЧПЕ, револьверна інструментальна головка і АЗІ; РМФ - ЧПК, револьверну

вка і АЗІ; РМФ - ЧПК, револьверна інструментальна головка, інструментальний магазин і АЗІ.

Структурна формула компоновки - певна послідовність символів, що позначають блоки компоновки, що розкриває координатну приналежність і спосіб сполучення блоків.

Для верстатів з ЧПК застосовується система позначення осей координат ІСО. Особливість її в тому, що вісь координат Z приймають завжди паралельній осі головного шпінделя верстата, незалежно від того, як він розташований - вертикально або горизонтально. Ця особливість дозволяє при ЧПК для найбільш поширеної плоскої обробки використовувати в програмах позначення координат через X і Y незалежно розташування осі шпінделя. Як позитивний напрям осі Z приймають напрям від заготовки до інструменту. Вісь X - завжди горизонтальна. Додаткові рухи, навколо осей X, Y, Z, позначають відповідно буквами a, B, z, a додаткові - d і e. Рухи паралельні осям X, Y, Z позначають відповідно U, V, W (вторинні) і p, g, r (третій черзі). Позитивні напрями обертальних рухів інструменту +a, +B, +z відповідають напрямку обертання правого гвинта при його просуванні відповідно уздовж осей +X, +Y, +Z.

За наявності у верстаті декількох шпінделів один з них приймають головним. Обертання головного шпінделя позначають буквою C (іноді - S - Spindel). Якщо в компоновці одночасно є шпінделі, заготовки і інструмент, то перший вважають головними (C), а обертання другого A, B (вісь Y), D (вісь Z). Головний рух різання позначають знаком <sup>л</sup> над відповідною буквою, наприклад <sup>л</sup>C. Стаціонарний блок позначають знаком Про (відсутній рух). Блоки, що виконують одночасний два рухи, записують з косою дробовою межею (z /c). Це відноситься до блоків, що переміщаються під кутом.

### 1. 3. Механізми автоматичної зміни інструменту.

Фрезерні верстати з ЧПК все частіше оснащують інструментальними магазинами, що дозволяють значно скоротити допоміжний час і підвищити точність обробки. Тому настройка інструменту виконується поза верстатом, а інформація про фактичні

розміри виносяться в пристрої системи управління, що коректують, почала обробки. Це дозволяє повністю автоматизувати обробку заготовок деталей.

1. 3. 1. На верстаті ФП - 27С інструментальний магазин розташований на лівій стороні повзуна, а механічна рука, що здійснює зміну інструменту, з лівого переднього боку повзуна. Цикл установки і зміни інструменту (мал.8) виконується в такій послідовності:

1) механічна рука 18 переміщається в ліве верхнє положення і встановлюється так, що її зів знаходиться в одній площині з гніздом інструментального магазину;

2) перевантажувач 24 "знаходить" необхідний інструмент (програмується гніздо) і переносить його з гнізда в зів механічної руки;

3) механічна рука з інструментом переміщається в нижнє положення (фрезерна головка знаходиться при цьому в крайньому верхньому положенні) повертається і вставляє інструмент в шпиндель, після чого рука повертається в початкове положення за новим інструментом.

Час зміни інструменту (з урахуванням часу на переміщення головки) 15с. Переміщення перевантажувача при пошуку, захопленні і подачі інструменту до автооператора 23 здійснюється від приводу перевантаження 32, встановленого з лівого заднього торця повзуна. У подовжньому напрямі (уздовж магазину) переміщення перевантажувача виконується від електродвигуна 42П5В – 112SE ( $n_{ном} = 600 \text{ хв}^{-1}$ ) через черв'ячну пару 5,7, ходовий валик 9, конічну передачу 10, 12 і рейкову передачу 11, 8.

Вертикальне переміщення автооператора 23 виконується безпосередньо гідروциліндром 14, а руки - гідроциліндром 13.

Повороти руки здійснюється від поршнів - рейок 17 і 15, які з валом - шестернею 16 кінематично зв'язані таким чином, що повороти на  $\pm 90^\circ$  виконуються за допомогою рейки 17 у верхньому положенні руки, а поворот на  $+180^\circ$  виконується рейкою 15 в нижньому положенні руки. У верхньому положенні руки рейка 15 має вільний хід до упору без дії після виконання циклу в початкове положення.



Переміщення руки "вперед" і "назад" забезпечується за допомогою двох рейкових передач 20,19 і 21 і 22, причому завдяки різниці числа зубів шестерень 20 і 21 довжина ходу руки в 2 рази більше довжини ходу поршня, пов'язаного з рейкою 19.

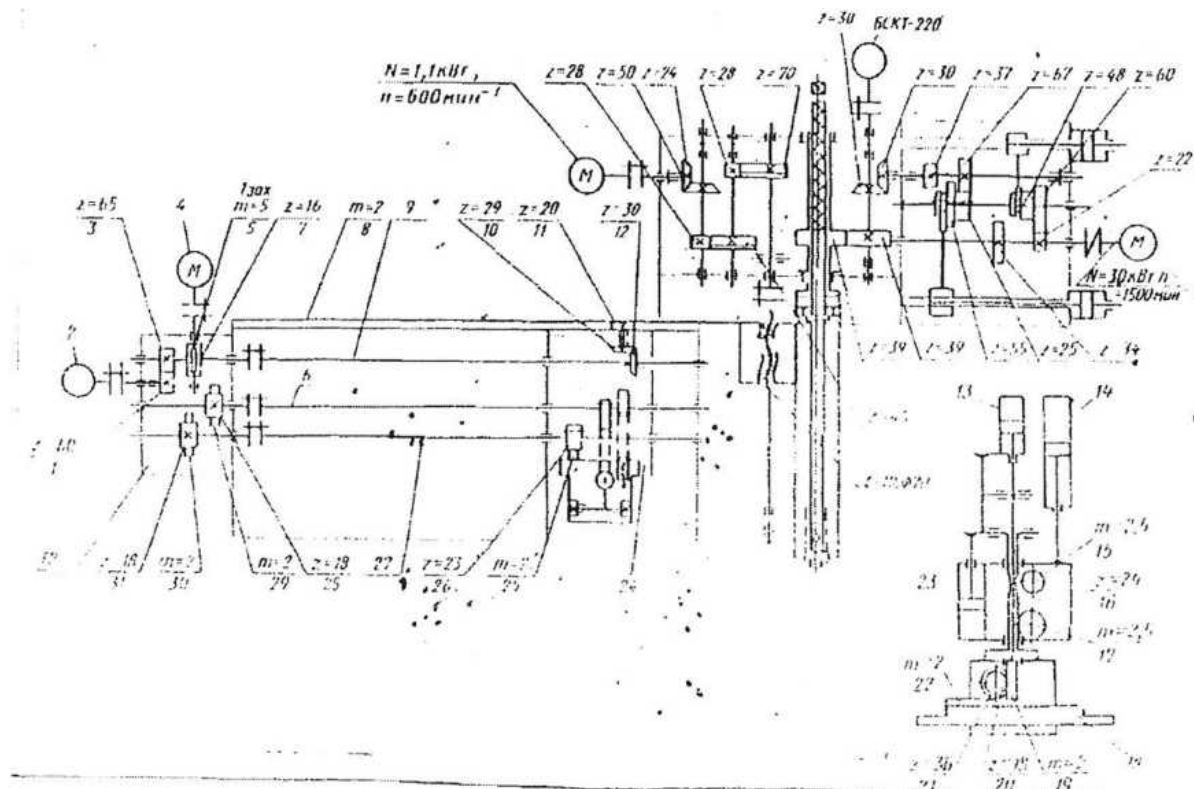


Рис. 1. 7. Кінематична схема повзуна вертикально – фрезерного ФП- 27С з ЧПК

1. 3. 2. Розглянемо конструкцію автооператора багатоцільового горизонтального верстата з ЧПК IP500МФ4 , а також верстата IP800МФ4.

Багатоцільові горизонтальні верстати з ЧПК з автоматичною зміною інструменту і оброблюваної деталі призначені для обробки корпусних деталей, з декількох сторін без переустановлення деталей, для чого верстати оснащені поворотними столами. Розглянемо найбільш поширені моделі верстатів цього типу, їх автооператори схожі по конструкції.

Автооператор розміщений над бабцею шпинделя верстата. Між його захватними важелями 9 і 10 встановлені пружини 13, прагнучі повернути захоплення щодо осей 11 і 12. Захоплення змонтовані в корпусі 20, сполученому з гільзою 18.

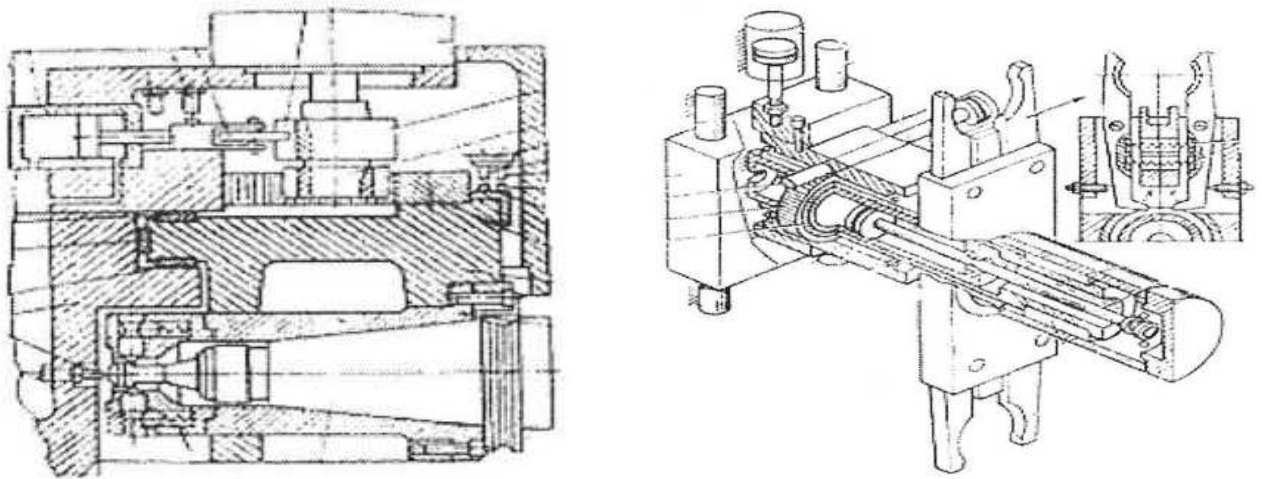


Рис. 1. 8. Привід повороту і фіксації інструментального магазина

У кришці 17 гільз закріплений шарикопідшипник 16, посаджений на кінець штока 15 гідроциліндра 21. При переміщенні поршня 22 разом з штоком 15 рухаються і гільза 18 із захопленнями. При цьому інструментальні облямовування вилучаються з гнізда магазина або з посадочного конуса шпинделя. Щоб потім поміняти інструменти місцями, необхідно повернути на  $180^\circ$  корпус 20 із захопленнями, для чого служить гідроциліндр 8. Шток гідроциліндра сполучений з рейкою 3, яка знаходиться в зачепленні зубчатим вінцем 2, закріпленим на верстаті 1. Перший кінець верстата зв'язаний (двома довгими штоками 14 і 19) з гільзою 18. Тому гільза (а разом з нею корпус 20 захоплень) повертається разом з верстатом 1. Довгі пази шпон дозволяють гільзі із захопленнями здійснювати необхідні подовжні переміщення.

Щоб захопити інструмент з магазину, корпус автооператора 4 піднімається (гідроциліндром 6) по тих, що направляють 5 і 7 в крайнє верхнє положення, при якому одне із захоплень фіксує фланець інструментального облямовування, підготовленого до подачі в шпindelь верстата. Надалі при вилученні з магазину і перенесенні в шпindelь облямовування утримується пружинами 13.

Щоб у момент повороту корпусу 20 захоплень облямовування (з інструментом) не вискочило із захоплення під дією відцентрових сил, передбачений запобіжний пристрій. У крайньому правому положенні корпусу 20 внутрішніх кінців важелів упираються в шпонки, що не дозволяє важелям зближуватися і звільнити облямування.

1. 3. 3. Пристрої зміни інструментів у верстатах з ЧПК включають накопичувачі необхідних інструментів (револьверні головки шпинделів, багатопозиційні різцетримачі, інструментальні магазини, скелі - стелажі), автооператорів або маніпуляторів із захватними механізмами, затискні механізми в шпинделі або різцетримачі, що транспортують механізми і пристрої управління, що забезпечують автоматичний цикл пошуку необхідного інструменту, передачу його в робочу зону верстата, установку в певній позиції в інструментальному шпинделі або різцетримачі, контроль стану під час робочого циклу і повернення в кінці циклу в накопичувач або на склад.

Дані пристрої повинні забезпечити точність і стабільність положення інструменту в шпинделі або різцетримачі, жорсткість і надійність його закріплення, мінімальний час зміни інструментів, достатньо велику ємкість накопичувана, компактність конструкції, можливість уніфікації і агрегатування. Конструкції пристроїв зміни інструментів різноманітні і можуть бути виконані з автооператором (маніпулятором) або без нього.

Механізм автоматичної зміни інструментів, встановлений на верстаті мод. 65Б60ПМФ4, складається з автономного ланцюгового магазину на 30 (за замовленням 60) позиційних гнізд (у яких розміщені інструментальні облямовування конусом вниз), проміжного маніпулятора, автооператора і механічної руки. При розміщенні облямовувань без пропуску гнізд найбільший діаметр встановлюваного

інструменту 125 мм, з пропуском гнізд 200 мм. Поворот магазина проводиться від електродвигуна постійного струму.

Пошук необхідного гнізда здійснюється по найкоротшому шляху від гнізда до позиції зміни інструменту. Вихід його в позицію зміни контролюється круговим датчиком BE17A5, встановленим на веденій зірочці магазина. Для фіксації вибраного гнізда відкривається замок, що закріплює облямовування.

Далі проміжний маніпулятор, що знаходиться у позиції очікування, захоплює за кінець оправки з вибраним новим інструментом і виймає її з гнізда магазина. Після виходу бабці шпинделя в позицію зміни інструменту і виконання нею команди "Орієнтація шпинделя" проміжний маніпулятор повертається, підводячи облямовування (конусом вгору), до автооператора, двохплечова рука якого одночасно захоплює цей інструмент і встановлений в шпинделі. Вона витягує облямовування з інструментом з шпинделя і захоплення маніпулятора, міняє їх місцями і вставляє в захоплення і шпиндель, де вони фіксуються і затискаються. Далі рука повертається в початкове положення, а проміжний маніпулятор перевертає облямовування з відпрацьованим інструментом ( конусом вниз), вставляє його в підготовлене гніздо магазина і повертається в початкове положення.

Пристрої, що працюють без автооператора, найчастіше є багатопозиційними різцетримачами або револьверними головками шпинделів, в яких заздалегідь встановлюють необхідний набір інструментів. В процесі обробки деталі на верстаті різцетримач або револьверна головка періодично повертається і фіксується. Залежно від напрямку осі обертання вони можуть бути горизонтальними, вертикальними або похилими. На відміну від різцетримача з нерухомо закріпленими інструментами в револьверних головках шпиндель, що знаходиться в робочій позиції, приводиться в обертання від головного приводу верстата.

Поворотні різцетримачі і револьверні головки забезпечують швидку зміну інструментів (час зміни 1 - 3 с), відрізняються простотою конструкції і можливістю уніфікації і агрегатномодульною побудовою. Проте число інструментів в цих пристроях обмежене (до 6 - 12 шт.), оскільки із збільшенням числа позицій

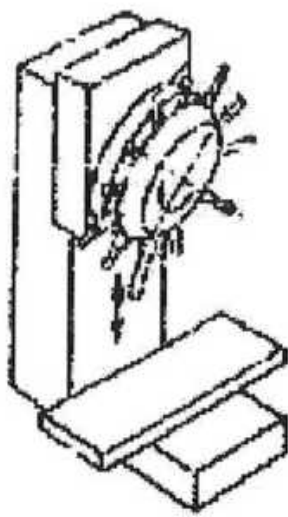
зростають габаритні розміри, знижується жорсткість конструкцій і зменшується робоча зона верстата.

Для підвищення жорсткості шпинделя і збільшення його ходу використовують револьверні головки для розміщення в них набору уніфікованих змінних інструментальних облямовувань. Така револьверна головка є інструментальним магазином, безпосередньо розташованим на бабці шпинделя.

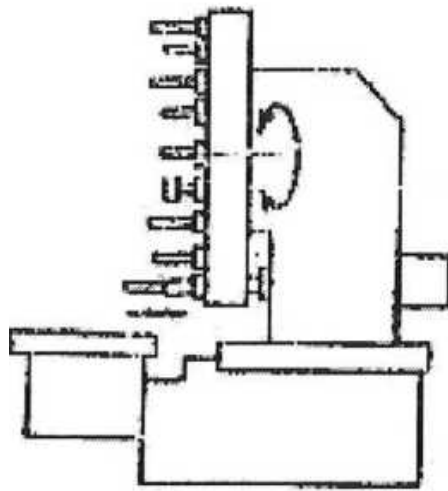
Більшість багатоопераційних верстатів з ЧПК мають пристрою з магазином інструментів і спільно виконаних з ним автооператором. Якщо інструментальним магазином великої місткості є автономний пристрій, то додатково є автоматичні транспортуючі механізми, транспортні маніпулятори або візки для переміщення вибраного в магазині інструменту в позицію захоплення його автооператором і повернення замінюваного інструменту в магазин.

Конструктивна схема пристрою зміни інструментів в значній мірі залежить від типу магазину, який, у свою чергу, визначається числом розміщуваних інструментів (місткістю магазину). При відносно невеликій місткості (не більше 20 - 25 інструментів) застосовують дискові інструментальні магазини, що розміщуються безпосередньо на бабці шпинделя верстата. Такі магазини можуть бути з різним розташуванням інструментів щодо осі обертання диска: паралельним, радіальним або похилим.

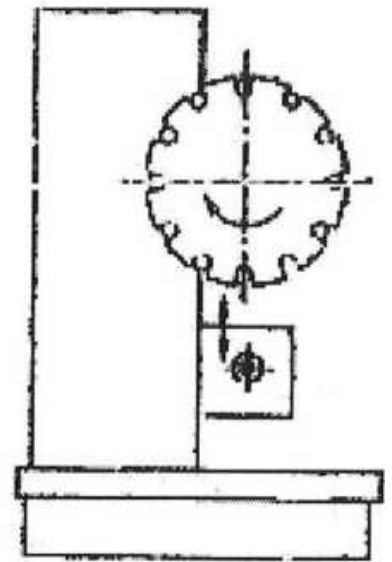
При більшому числі інструментів (до 40 - 50 шт.) доцільно використовувати багатосекційні барабанні або планетарні магазини, що є або дисковими пристроями багаторядності, або багатопозиційними інструментальними пристроями, - головки, в кожній позиції яких встановлюється поворотний дисковий магазин з невеликим числом (4 - 6 шт.) інструментів. Багатосекційні інструментальні магазини встановлюють безпосередньо на верстаті на окремій стійці. При подальшому збільшенні місткості (до 100 - 140 шт. і більш) необхідно застосовувати ланцюгові магазини, що встановлюються на колоні верстата або на окремій підставі.



а)

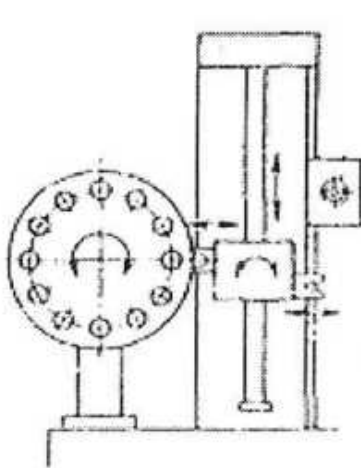


б)

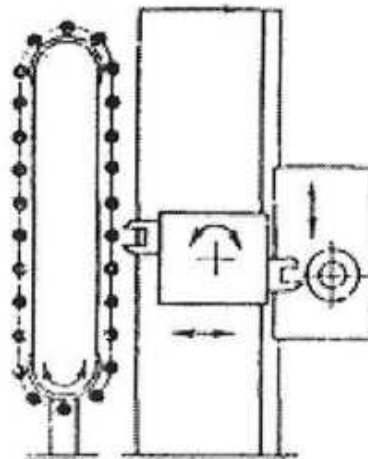


в)

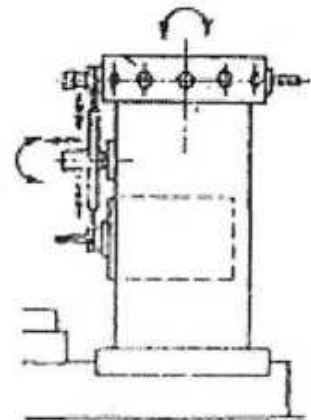
Рис. 1. 9. Пристрої для автоматичної зміни інструменту, розташований співвісний з шпинделем(а) і паралельно йому (б, в).



а)



б)



в)

Рис. 1. 10. Пристрої для автоматичної зміни інструменту з автооператором і магазином.

а – дисковим; в – розташованим на стійці верстата; б – ланцюговим;

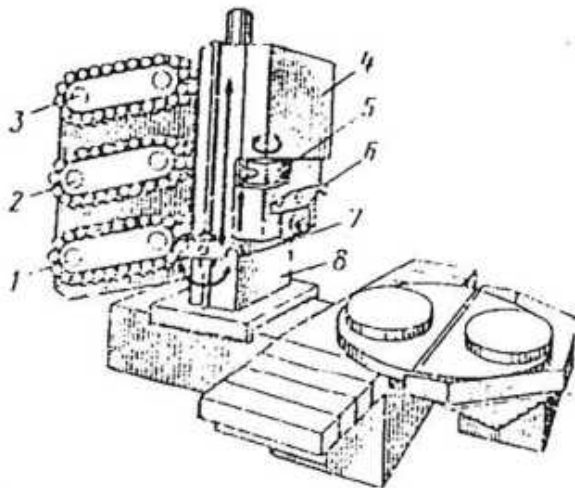


Рис. 1. 11. Пристрій для автоматичної зміни інструменту з автооператором і позицією очікування.

#### 1. 4. Пристрої для затиску інструменту в шпинделі.

Затискні пристрої утримують оброблювані деталі, інструменти і пов'язані з ними вузли верстата в необхідному робочому положенні. Необхідну силу затиску визначають виходячи з тих міркувань, щоб в затягнутому стику не створювалися необоротні пластичні зсуви і не відбувався зрив під дією зовнішнього вантаження.

1. 4. 1. Конструкції затискних пристроїв залежно від виду ланки з самогальмуванням відрізняються великою різноманітністю - клинові, гвинтові і ексцентрикові. Передачі з самогальмуванням використовують для того, щоб двигуни

приводу працювали тільки в короткочасному режимі затиску або розтиску. По умові стабільності затиску самотормозящую передачу доцільно розташовувати в кінці кінематичного ланцюга приводу в безпосередній близькості до затискного пристрою.

Клини і ексцентрики затискних пристроїв зазвичай виготовляють з маловуглецевої сталі з подальшою цементацією і засипкою. У затискних пристроях автоматичної дії використовують електромеханічний, гідравлічний, а іноді і пневматичний привід.

Електромеханічний привід використовують для затиску крім моменту, що створюється двигуном, також маховий момент всіх елементів приводу. Затиск здійснюється у вигляді невеликих послідовних етапів.

При конструюванні затискного пристрою слід усувати перенесення в рухомих з'єднаннях приводу, оскільки сила тертя і відповідно ККД приводу можуть при цьому істотно змінюватися.

Цангові затискні пристрої, використовують в токарних автоматах для затиску і обробки деталей. Для затиску невеликих деталей при їх остаточній обробці застосовують магнітні, вакуумні, такі, що заморожують і деякі інші пристрої.

У фрезерних верстатах значні витрати часу пов'язані із затяжною шомпола при кріпленні інструменту. Для скорочення цих непродуктивних витрат застосовують різні швидкодіючі затискні пристосування.

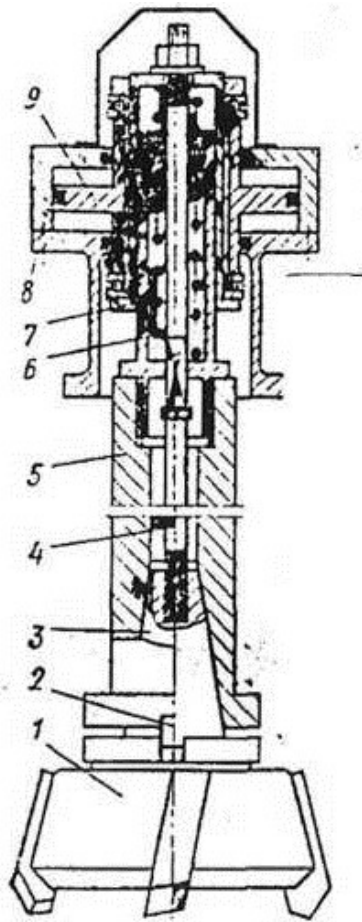


Рис. 1. 12. Закріплення фрез з оправкою в шпинделі вертикально-фрезерного верстата



Пристосування для затягування шомполу (рис.1. 12.) складається з пневмокамери 8, поршня 9, верстата 7, пружини 6 і шомполи 4. Повітря з мережі подається у верхню порожнину пневмоциліндра, поршень з верстатом і шомполем опускається вниз, стискаючи пружину. Фрезу 1 на облямовуванні 3 вставляють в шпindel 5 верстата, облямовування нагвинчують на різьбовий кінець шомполи так, щоб в кінці загвинчування паз на фланці облямовування співпав з торцевою шпонкою 2 на шпинделі. Після цього випускається повітря з циліндра, і пружина через шомпол затягує облямовування в шпинделі верстата. Для звільнення облямовування з шпинделя повітря з мережі знову подається в пневмоциліндр. Пристосування встановлюють на торці шпиндельної бабки.

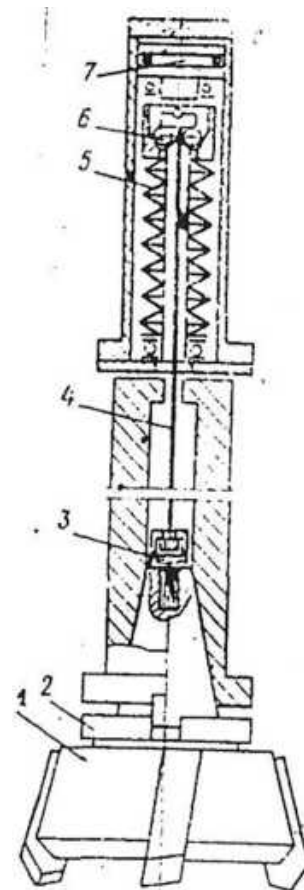


Рис. 1. 13.

Закріплення фрези з  
оправкою в шпинделі

На рис.13 зображений механізм затиску інструменту, в якому для затягування шомполу 4 використовують набір тарілчастих пружин 5, а для звільнення інструменту - гідроциліндр з поршнем 7. Установку і затиск інструменту в шпинделі верстата проводять в такій послідовності. На пульті управління верстатом включають тумблер "Віджимання інструменту", поршень 7 опускається вниз, знімає пружини і опускає шомпол вниз. Облямовування 2 з фрезою 1 вводять в шпиндель так, щоб пази на облямовуванні розташувалися під кутом  $90^\circ$  до шипів на шпинделі, а Т - образний кінець шомполу увійшов до захоплення 3 оправки. Після цього оправку повертають до збігу її пазів і шпильок на шпинделі, включають тумблер в

положення “Затиск інструменту”, тарілчасті пружини розтискали і через кульковий пристрій 6 переміщують шомпол вгору, закріплюючи інструмент в шпинделі верстата. Такий механізм затиску інструменту встановлений на консольному вертикально - фрезерному верстаті з ЧПК мод. БРІЗФ3.

1. 4. 2. Конструкції шпинделів спеціалізованих фрезерних верстатів з ЧПК і звичайних верстатів розрізняються тим, що по-перше усередині шпинделя розміщений пристрій для автоматичного або напівавтоматичного затиску ріжучого інструменту. Елементи конструкції шпинделя показані на рис.14. Головна частина - передній кінець шпинделя виконаний по ГОСТ 15945 - 82 і складається з конусного отвору 1 конусністю 7:24, призначеного для кріплення фрез або облямовувань з фрезами. На торцевій частині шпинделя розташовано дві торцеві шпонки 2 для передачі моменту, що крутить, облямовуваннями з укріпленими на них фрезами і фрезерними головками. У циліндровій частині фасонного отвору 3 розміщені захоплення 4 для втягування облямовування 5 з укріпленою на ній фрезою. Захоплення 4 виконані у вигляді чотирьох лопаток, зафіксованих спеціальною проточкою 6 і штанзі виштовхувана. Профільні лопатки механізму захоплення отримані подовжнім різцем на чотири частини втулки спеціального профілю. Лапки скріплюють і підтискаються пружинами 8 до стінки направляючого отвору 7, яке сполучене з отвором 9, що обмежує хід лопаток захоплюючого механізму.

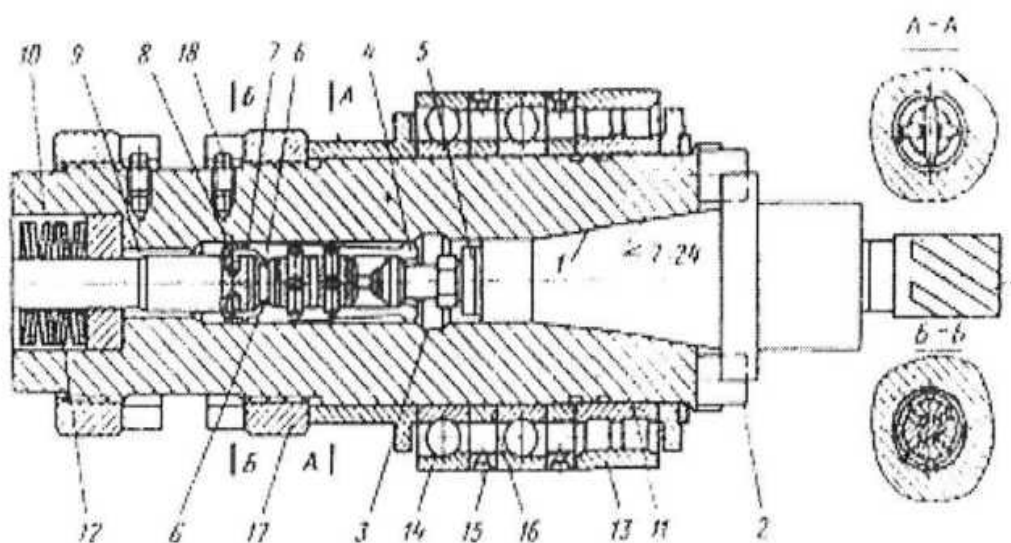


Рис. 1. 14. Елементи конструкції шпинделів фрезерних верстатів.

1. 4. 3. Шпиндельна група, відокремлена від коробки швидкостей. Таку групу шпинделя застосовують у вертикальних фрезерних верстатах гамми ФП - 27НЗ, ФП-37НЗ.

Шпиндельна головка (рис.9) має чавунний корпус з направляючими прямокутного перетину. У корпусі 1 змонтований шпиндель з вхідними в нього опорними і кріпильними елементами і пристроєм затиску облямовування з ріжучим інструментом. Усередині корпусу знаходяться два стакани - передній 9 і задній 10, в яких розміщуються опорні елементи шпинделя 2. Передній кінець верстата 9 закритий фланцем 3. На задньому торці корпусу 1 розташований гідроциліндр 20, що забезпечує висунення вперед захоплюючої штанги 5, повернення якої виконується за допомогою тарілчастих пружин 6, що упираються в підшипник 7 і гайку 8. Шпиндель 2 в передній головній частині має поверхню конусністю 1:12, на якій встановлений дворядний роликовий підшипник.

Привід механізму кріплення облямовування з інструментом в шпинделі працює таким чином. Під тиском рідини з гідросистеми поршень гідроциліндра 4 рухається до переднього кінця шпинделя, стискаючи тарілчасті пружини 6 і переміщаючи кільце з куркульками 15, які захоплюють штангу 5. На кінці конструкції штанги укріплено чотири лопатки захоплення 16, які при русі штанги також переміщаються до переднього кінця шпинделя. При просуванні захоплень до розточеної кишені 17 в шпинделі 2 захоплення звільняються, і шток виштовхує облямовування з інструментом.

При знятті тиску пружини повертають поршень в первинне положення, забезпечуючи захоплення облямовування інструментом і притиск її до конуса в шпинделі з силою  $P = 20 \text{ кН}$ .

1. 4. 4. Шпиндельна група, вбудована в коробку швидкостей, застосовується в портальних подовжньо - фрезерних чотирьохкоординатних верстатах 2ФП - 242В, призначених для обробки заготовок з алюмінієвих і сталевих сплавів.

Ріжучий інструмент в шпинделі затискається тарілчастими пружинами 18 з силою  $P = 25 \text{ кН}$ ; віджимання здійснюється гідроциліндром 19. Піноль після переміщення на задану відстань затискається в двох місцях сухарями 20.

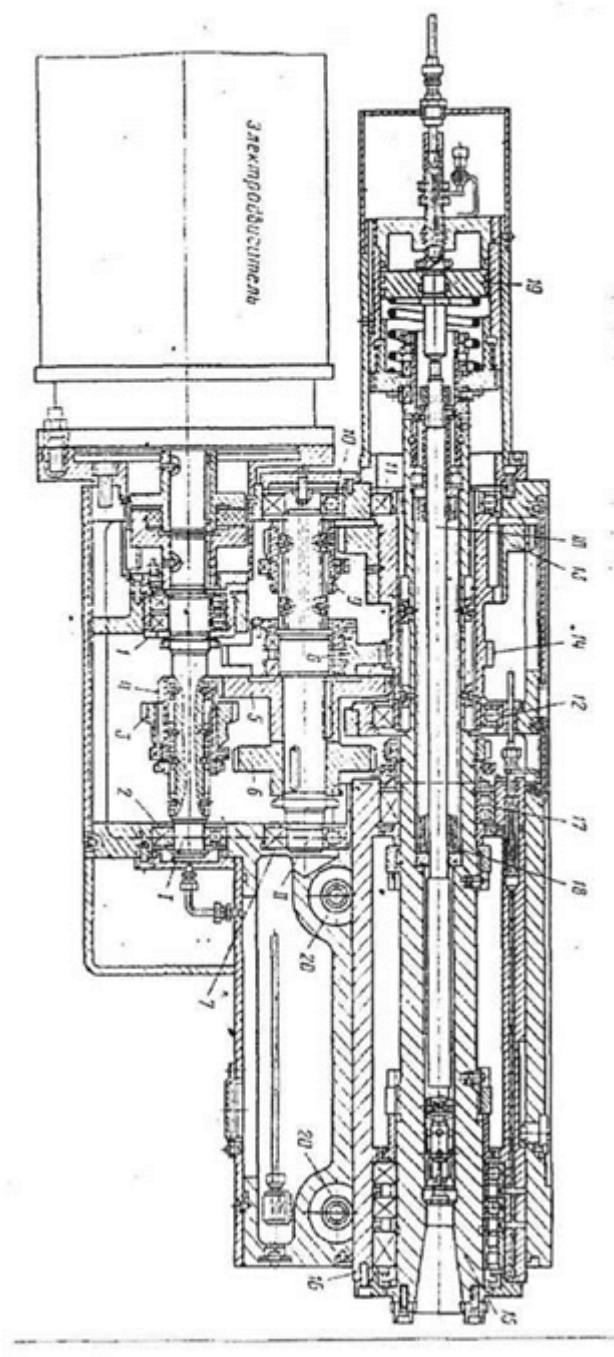


Рис. 1. 15. Вбудована група шпинделя  
фрезерного верстата 2ФП – 242В

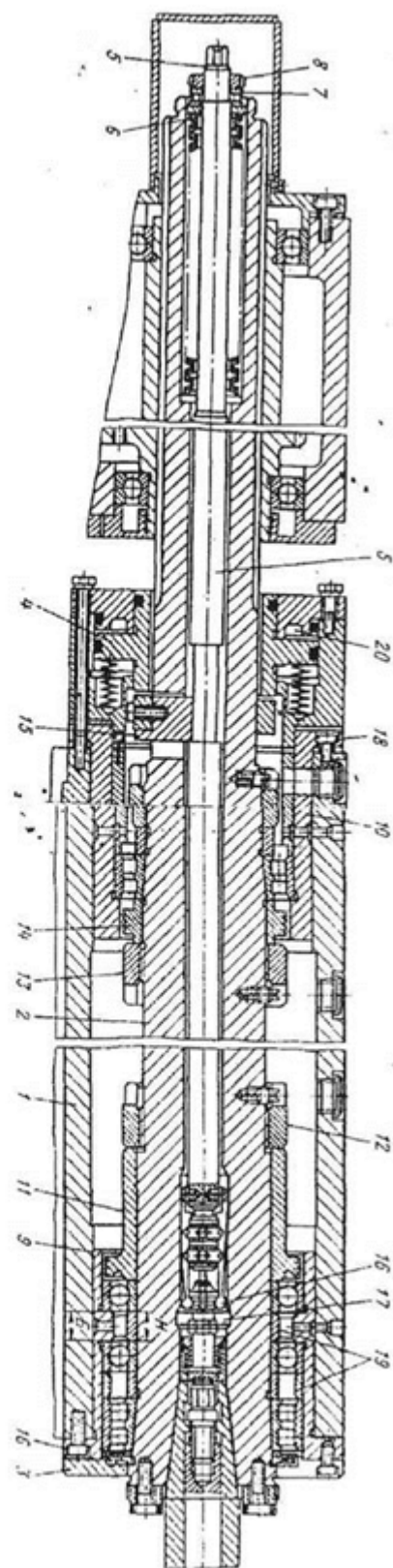


Рис. 1. 16. Головка шпинделя  
верстата ФП – 27Н3

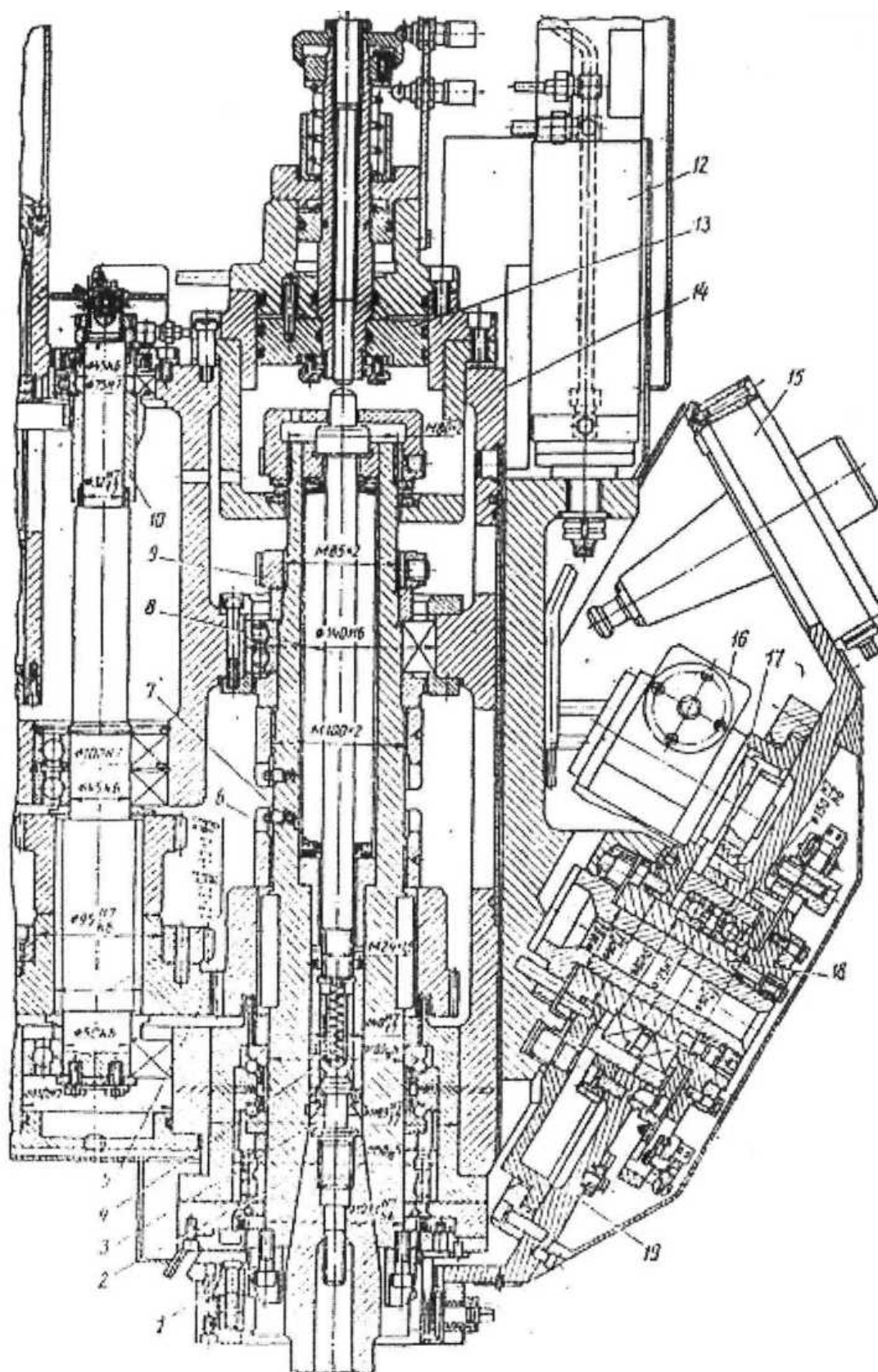


Рис. 1. 17. Механізм автоматичної зміни інструментів для вертикаль – фрезерного верстата з ЧПК.

### 1. 5. Аналіз вузлів конструкції фрезерних верстатів з ЧПК.

Аналізуючи приведені конструкції фрезерних верстатів з ЧПК і порівнюючи перераховані раніше вузли з компоновкою даного багатоцільового вертикально - фрезерного консольного з ЧПК і АЗІ верстата ГФ 2171С5, уніфікованого по основних вузлах з верстатом мод. 6Р13ФЗ - 37, доповненого такими вузлами як: інструментальний магазин, зручно і компактно розташований на правій стороні корпусу верстата; автооператор, призначений для автоматичної зміни інструменту; гідравлічно - керованою коробкою перемикання швидкостей; гідромеханічним механізмом кріплення інструменту і орієнтації шпинделя, необхідної для зміни ріжучого інструменту.

Приходимо до висновку, що в даній конструкції допускається заміна наступних вузлів: коробки швидкостей, оскільки дана є громіздкою, а отже металоємною (5 валів і великий модуль шестерень  $m = 4$ ); зменшення міжопорної відстані кріплення шпинделя у вузлі фрезерна головка; заміна механізму кріплення інструменту і як наслідок зменшення кількості тарілчастих пружин, службовців для створення зусилля затиску інструментального облямовування з ріжучим інструментом; зменшення габаритного діаметру магазину інструментального - зменшення металоємності, а також модернізація і спрощення конструкції інших вузлів верстата.

Спрощення решти крупних вузлів на наш погляд не потрібне, оскільки вони найбільш оптимально підібрані в даній конструкції верстата і є найбільш вдалим технічними розробками у верстатобудуванні в перебігу останніх 5 років, в порівнянні з раніше приведеними конструкціями окремих вузлів верстатів, а також найбільш підходять до конструкції даного верстата і як наслідок найефективніше виконують всі механічні і економічні функції.

## 1.6. Сучасні фрезерні верстати



Рис. 1. 18. Універсальний фрезерний верстат VHF 3 з великою зоною стола

Відомість про верстат:

- Фрезерна головка з можливістю нахилу  $\pm 45^\circ$
- По всіх трьох осях автоматична подача и пришвидшений хід
- Для роботи з горизонтальний шпинделем верхня траверса разом з головкой повертається на стійці

- Регулювання швидкості горизонтального і вертикального шпинделів здійснюється через окремі розподільні коробки із змазкою в масляній ванні
- Затискні пристосування по всіх трьох осях

Число обертів шпинделя – 90 – 2000 об/хв

Швидкість подачі:

- вісь X – 20-360 мм/хв;
- вісь Y – 20-360 мм/хв.

Потужність головного двигуна – 2,2 кВт  
Максимальне допустиме навантаження столу 300 кг



Рис. 1. 19. Універсальний фрезерний верстат Portalo 1810 з великою зоною стола

Відомість про верстат:



- лита станина високою порталної конструкції забезпечує максимальну жорсткість при не великій займаній площі, ефективність і економічність
- відмінна синхронізація приводу завдяки стабільному двосторонньому приводу траверси
- широко рознесені один від одного прямокутні направляючі по осі Z
- продуктивний привід головного шпинделя потужністю до 12 кВт і потужні серводвигателі по осях до 4,3 кВт

Число обертів шпинделя – 90 – 8000 об/хв

Швидкість подачі:

- вісь X – 0-1500 мм/хв;
- вісь Y – 0-1500 мм/хв.

Потужність головного двигуна – 12 кВт

Робоча зона:

- технологічний хід, вісь X 1020 мм
- технологічний хід, вісь Y 2000 мм
- технологічний хід, вісь Z 550 мм

Норми столу - 1900x1000 мм

Максимальне допустиме навантаження столу 9000 кг

Кількість позицій інструментального магазину – 20 шт.

Час зміни інструменту – 6 с.

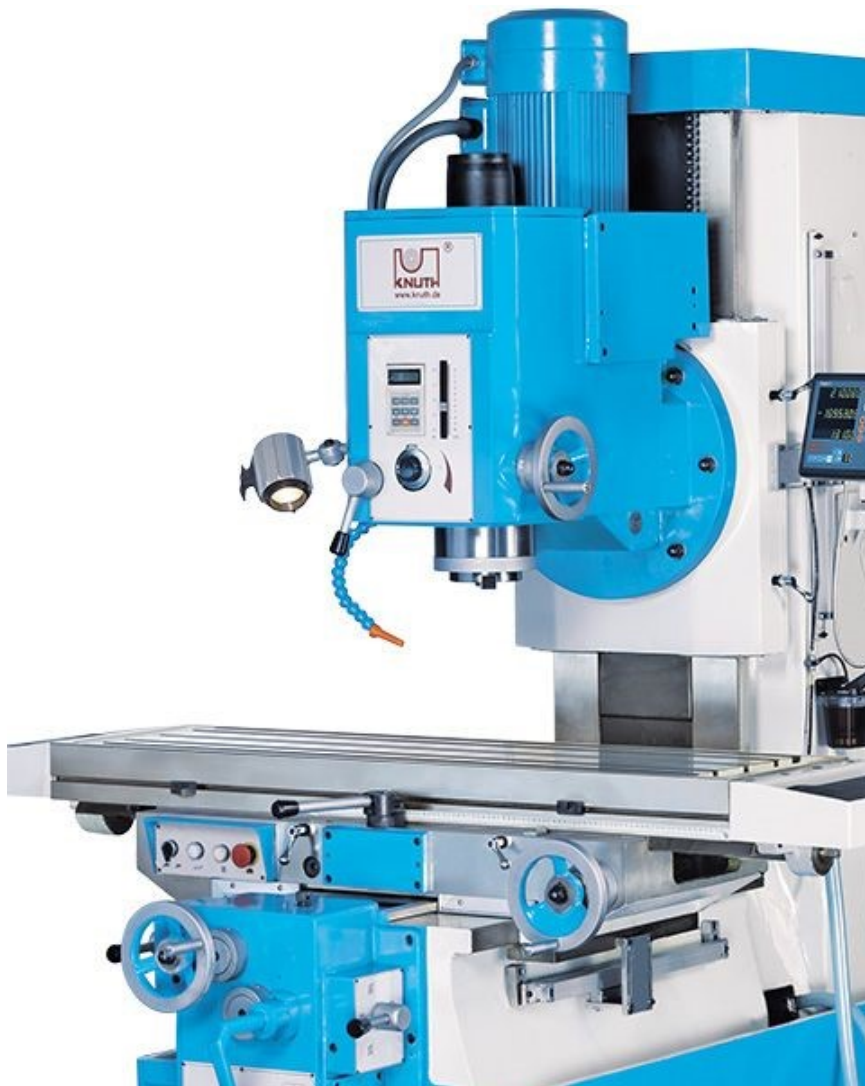


Рис. 1. 20. Повздовжній фрезерний верстат KV 1400 для інтенсивної обробки великогабаритних деталей

Відомість про верстат:

- Подача фрезерної головки по осі Z замість подачі робочого стола з деталлю дозволяє досягнути стабільності і низький рівень вібрацій. Велика важка станина із сірого чавуна і особливо широкі плоскі направляючі дозволяють посилити цей ефект.
- Станина із сірого чавуна Meehanite.
- $\pm 45^\circ$  поворотна фрезерна головка

- Безступінчасте регулювання числа обертів з допомогою частотного перетворювача
- Жорсткі прямокутні плоскі направляючі гарантують постійну точність

Число обертів шпинделя – 30 – 1800 об/хв

Швидкість подачі:

- вісь X – 18-627 мм/хв;
- вісь Z – 18-627 мм/хв;
- вісь Y – 18-627 мм/хв.

Потужність головного двигуна – 7,5 кВт



Рис.1. 21. Оброблювання заготовки



Рис. 1. 22. Горизонтально фрезерний верстат HBF 306

Відомість про верстат:

- особлива конструкція основи верстата, яка підтримує стіл без консолі по всій робочій зоні безпосередньо на станині і дозволяє обробку важких заготовок з високою точністю
- надійні та стабільні направляючі, що забезпечуються мастилом надійною автоматичною системою, гарантують точність і високий термін служби
- довжина затискної поверхні 3000 мм і ширина 630 мм з великим вильотом 750 мм
- поздовжня автоматична подача з безступінчатим регулюванням

- 6-ступінчаста, легко перемикається, механічна коробка передач з загартованими і точно обробленими шестернями і валами
- панель управління з більшим радіусом доступу завдяки її розташуванню на довгій поворотною консолі

Число обертів шпинделя – 80 – 505 об/хв

Швидкість подачі:

- вісь X – 0-1360 мм/хв;
- вісь Z – 0-430 мм/хв;.

Потужність головного двигуна – 7,5 кВт

Норми столу - 3000x750 мм

Максимальне допустиме навантаження столу 2000 кг

2. Аніліз та удосконалення верстата з метою покращення його технічних характеристик.

### 2.1. Загальні відомості про верстат.

Верстат фрезерний консольний вертикальний з числовим програмним управлінням (ЧПК) і автоматичною зміною інструменту (АЗІ) моделі ГФ2171С5 призначений для багатоопераційної обробки різноманітних деталей складної конфігурації із сталі, чавуну, кольорових і легких сплавів.

Разом з фрезерними операціями на верстаті можна проводити свердління, зенкерування, розгортання і розточування отворів, зв'язаних координатами.

Верстат може використовуватися в індивідуальному і серійному виробництвах.

Клас точності - "Н" по ГОСТ 8 - 82.

Верстати можуть використовуватися в різноманітних кліматичних умовах.

Базовий верстат складається із наступних основних вузлів:

1. Станина
2. Механізм автоматичної зміни інструменту
3. Головка шпинделя
4. Короба швидкостей
5. Механізм закріплення інструменту
6. Гідроапаратура
7. Стіл
8. Коробка зміни частот обертання шпинделя
9. Електроустаткування
10. Система керування
11. Консоль
12. Система подачі змащувально-охолоджувальної рідини
13. Телескопічний захист направляючих
14. Пристрій ЧПК

## 2. 2. Основні технічні характеристики верстата

Технічні характеристики зведені в окрему таблицю.

Основні параметри та величини.

Таблиця 1.

№ п/п	Найменування параметрів	Дані
-------	-------------------------	------

1.	Розміри робочої поверхні стола, мм	
	довжина	1600
	ширина	400
	кількість Т – подібних пазів	3
2.	Ширина Т – подібних пазів, мм	
	напрямних	18Н8
	затискних	18Н12
3.	Відстань між пазами, мм	100
4.	Найбільше переміщення повзуна по осі z не менше, мм	190
5.	Найбільше повздовжнє переміщення стола	
	по координаті x,	1000
	поперечне по координаті y,	400
	вертикальне устаневче в мм.	250
	Хвилинна подача стола та повзуна, мм/хв.	3... 6000
6.	Прискорене переміщення столу по координатах	
	X та y, а повзуна по координаті z, мм/хв.	7000
7.	Конусність шпинделя 7:24 по ГОСТ - 24644 – 81	50
8.	Кількість частот обертання шпинделя	18
9.	Межі частот обертання шпинделя	40... 2500
10.	Коефіцієнт ряду частот обертання шпинделя, φ	1,26
11.	Найбільший крутний момент на шпинделі, кНм	0,615
12.	Допустиме навантаження по координатах x та y, Н	15690
13.	Допустиме навантаження по координаті z, Н	9806
14.	Відстань від торця шпинделя до робочої поверхні столу, мм	
	найменша	250
	найбільша	500
15.	Відстань від осі шпинделя до вертикальних напрямних станини, мм	500
16.	Максимальна висота оброблюваної заготовки, мм	380



17.	Габаритні розміри оброблюваних корпусних заготовок ширина × довжина × висота, мм	250×850×380
18.	Найбільша маса оброблюваної заготовки та пристосування, що встановлюється на столі верстата, кг	400
19.	Кількість позицій магазину інструментів, шт.	12
20.	Вибір інструменту з магазину	Відповідно до нумерації
21.	Час заміни інструменту, с, не більше	4
22.	Максимальні діаметри інструментів, мм фрези торцевої фрези кінцевої свердла	125 40 30
23.	Максимальна маса інструментів, кг	15
24.	Максимальний виліт інструменту від торця шпинделя, мм	250
25.	Система ЧПК	Heidenhain
26.	Кількість керованих координат	3
27.	Продуктивність насосу гідростанції, л/хв.	8
28.	Кількість гідромоторів	2
29.	Типи гідромоторів	T15-21P
30.	Насос для подачі змащувальних матеріалів до зубчастих коліс напрямних консолей, столу та санчат	ВГ11-11А
31.	Насос для подачі змащувальних матеріалів до підшипників коробки швидкостей та головки шпинделя	плунжерний оригінальної конструкції
32.	Габаритні розміри верстата з електро – та гідрообладнанням, мм, довжина ширина висота	3680 4170 3150

33.	Маса верстата, кг	5000
-----	-------------------	------

Крім технічних характеристик верстата в рорахункова-пояснювальній записці представлені загальні креслення та креслення окремих вузлів верстата

### 2.3. Опис базових вузлів

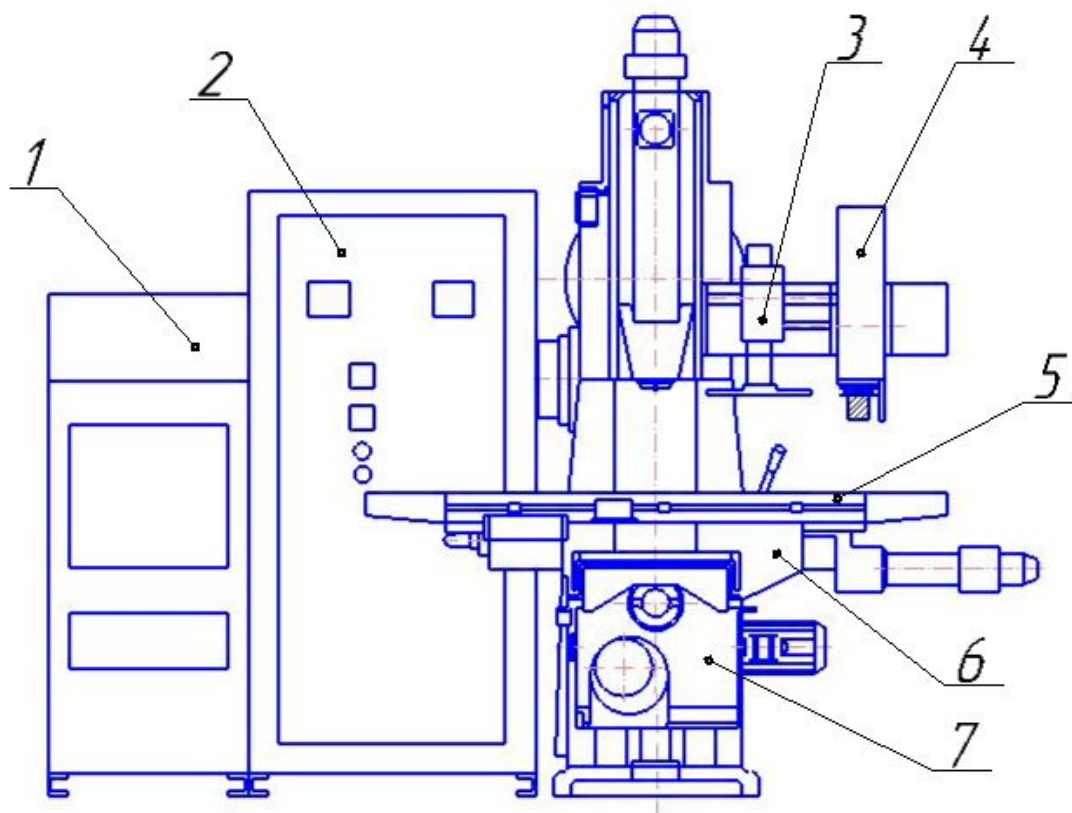


Рис. 2.1. Загальний вигляд

Станина 6, що представлена на загальному вигляді верстата вона є базовим вузлом для монтування вузлів та окремих механізмів верстата. На станині виконані вертикальні напрямні для переміщення консолі 7. Вона є базовим вузлом і об'єднує приводи вертикального та поперечного переміщень столу.

На вертикальних напрямних виконується установче переміщення консолі, яка є основним базовим вузлом верстата. В поперечному напрямку стіл із санчатами вісь Y, переміщується по консолі на прямокутних напрямних.

В консолі також змонтовано двоступінчастий редуктор з передавальним відношенням 1:2 для поперечного переміщення столу. Від електродвигуна через редуктор і кульково-гвинтову передачу здійснюється переміщення стола. Крок гвинта  $t=10\text{мм}$ .

Асинхронний двигун Д4, що встановлений на правій стороні консолі виконує її установче вертикальне переміщення. Це переміщення виконується через червячну пару. Величина вертикального установчого переміщення консолі здійснюється за допомогою лінійного датчика. Хід консолі обмежується кінцевими вимикачами, що встановлені в лівій ніші станини. Коробка перемикачів швидкостей встановлена з лівого боку станини, як самостійний вузол. Частоти обертання шпинделя перемикаються відповідно до заданої програми. Коробка швидкостей має механізм автоматичної орієнтації шпинделя. Резервуар для масла знаходиться в середині корпусу станини.

Станина кріпиться на основи болтами. Стіл рухається по осі X від окремого електродвигуна через одноступінчастий редуктор з передавальним відношенням  $i=1:2$  та кульково-гвинтову передачу, крок гвинта якої  $t=10\text{ мм}$ . Опори ходового гвинта змонтовані в двох підшипниках. Один з них закріплений з лівого боку в кронштейні, а інший в корпусі редуктора з правої сторони. Ходовий кульковий гвинт для поперечного переміщення столу встановлений в корпусі консолі, стіл може переміщуватись і вручну для чого передбачається квадратний вихід ходового гвинта. Повзун зі шпинделем переміщується від окремого електродвигуна через редуктор приводу шпиндельної головки, через пару циліндричних зубчастих коліс з передатним відношенням  $i=1:2$ , та кульково-гвинтову передачу з кроком гвинта  $t=10$

мм. За верстатом розташована шафа 1 з електрообладнанням та шафа 2 з системою ЧПК. Пульт керування системою ЧПК встановлений із зовнішньої сторони шафи 2.

Інструментальний магазин 4 розташований з правої сторони і має захисний щиток відповідно до правил техніки безпеки. Автооператор 3 розташовується також з правої сторони на фрезерній бабці. Його вертикальна вісь знаходиться в одній площині з віссю шпинделя. Вісь інструментальних оправок в гніздах інструментального магазину знаходиться в одній площині з віссю автооператора.

#### 2. 4. Механізм автоматичної зміни інструменту

Виконано к окремий вузол до складу якого входить автооператор та інструментальний магазин місткістю 12 інструментів. Вибір інструментів виконується відповідно до програми в будь-якій послідовності. Автооператор подає інструмент з магазину в шпиндель і забирає відпрацьований інструмент із шпинделя та повертає його назад у магазин. Під час зміни інструменту передбачається зупинка інструменту, що виключає можливість попадання стружки на базові поверхні інструментальних оправок. Розміщення магазину інструментів та автооператора виконано в зоні, що зручна для обслуговування верстата.

#### 2. 5. Опис роботи автооператора

Автооператор здійснює переміщення рук вздовж осі та виконує поворот їх на  $180^\circ$ . В цей момент осі положень інструменту в магазині та інструменту в шпинделі верстата розташовані один відносно іншого на  $90^\circ$ .

До основних конструктивних елементів автооператора відносять каретку, механічну руку, блок механізмів для висування і повороту руки, а також механізм фіксації блоку повороту то фіксації руки за допомогою гідроциліндра. Переміщення каретки по траверсі виконується від окремого приводу.

Поступальне переміщення каретки та поворот руки на  $180^\circ$  виконується від валу двигуна при включенні електромагнітних муфт через двохступінчастий редуктор. На вихідному валу редуктора встановлені дві шестерні, що знаходяться в зачепленні з рейками, що закріплені на напрямних траверси. Поворот руки на  $180^\circ$  виконується

за допомогою червячної передачі. Зубчасте колесо цієї передачі закріплено на валу шестерні. На цьому ж валу закріплюється і конічне колесо, яке може переміщуватись за допомогою гідроциліндра. Разом із штоком гідроциліндра виконується і висування руки при використанні дросильючих пристроїв які спрацьбовують в крайніх положеннях штоку гідроциліндра. Інструмент захоплюється підпружиненими губками.

## 2. 6. Інструментальний магазин.

Корпус 5 магазину змонтований на шарикопідшипниках 4, що установлені на осі 3. Оправка з інструментами фіксується від випадання в гнізді магазину скобою та утримується від провороту фіксатором 15. Обертання магазину виконується гідромотром 14 через зубчасті колеса, які приводять в обертання корпус магазину. Вибір зазорів в зубчастих колесах виконують тарільчасті пружини 13. Гідропривід верстата забезпечує переміщення каретки оператора та обертання інструментального магазину, а також переміщення схватів та орієнтації шпинделя.

В станції гідроприводу передбачений бак ємністю 60 літрів. В станції гідроприводу змонтовані насосна установка система охолодження мастила з фільтрами. Система змащування об'єднує резервуар, що розташований в консолі насос, фільтр та маслорозподільник.

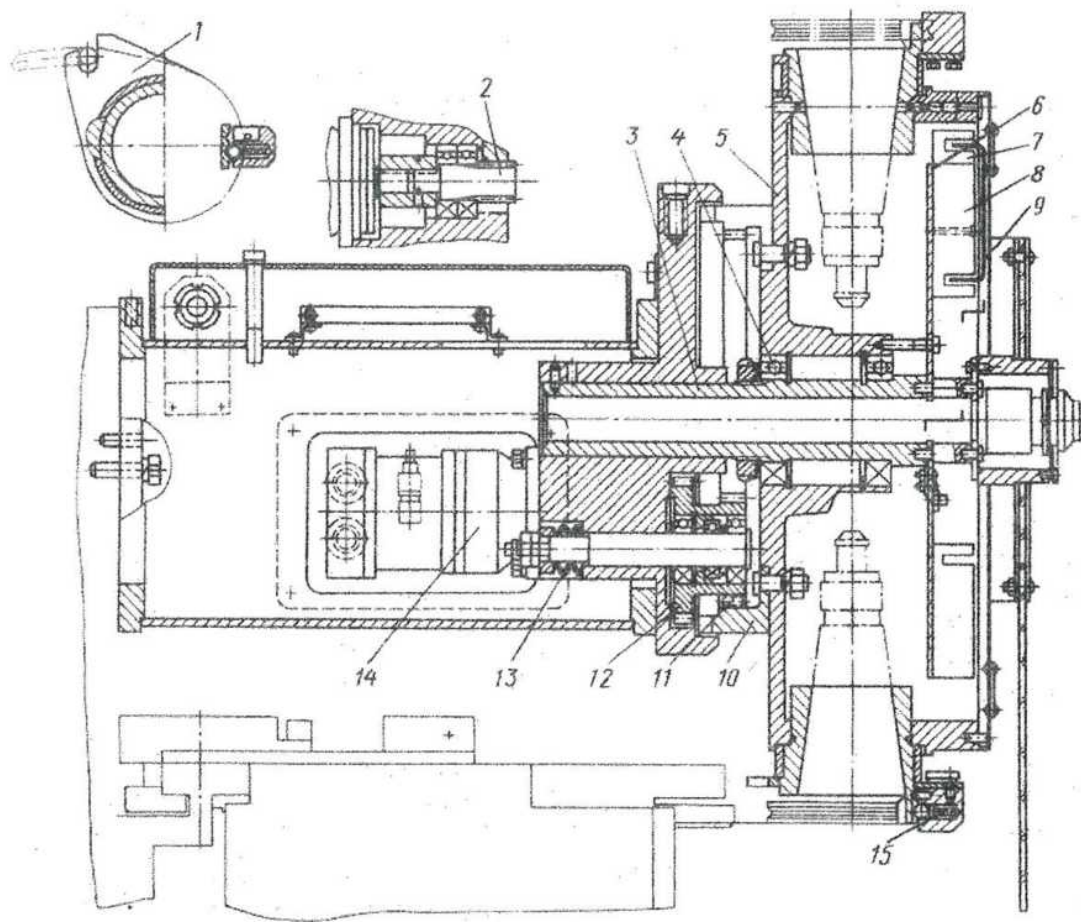


Рис. 2. 2. Інструментальний магазин

### 2.7. Робочий цикл зміни різальних інструментів

1. Зупинка верстата
2. Для розфіксації шпинделя в автоматичній коробці швидкостей переключасться блок шестерень в середнє положення.
3. Орієнтація шпинделя за допомогою шпонок, які фіксують положення інструментальних оправок в заданому положенні.
4. Автооператор вільним схватом захоплює інструментальну.
5. Спрацьовує механізм відтискання, що дозволяє змістити інструментальну оправку.
6. Автооператор виймає інструментальну оправку із шпинделя при переміщенні вниз.
7. Автооператор повертає схват орієнтуючи по осі шпинделя інструментальну оправку із інструментом взятим перед цим із інструментального магазину.

8. Інструментальну оправку автооператор заводить в конічний отвір шпинделя при переміщенні руки вгору.

9. Інструментальна оправка закріплюється в конусі шпинделя механізмом затиску.

10. Рука із схватами відводиться автооператором від шпинделя і виконує рух до магазину.

11. Вмикається автоматична коробка швидкостей і шпиндель починає обертатися, при цьому вимикається фіксація шпинделя.

12. Інструментальний магазин повертається в положення прийому інструментальної оправки вільним запрограмованим гніздом.

13. Автооператор виконує переміщення руки вгору і встановлює в гніздо магазину інструментальну оправку з відпрацьованим інструментом.

14. Рука автооператора відводиться від магазину в положення очікування.

## 2. 8. Характеристики окремих вузлів верстата.

2. 8. 1. Станина - основна складальна одиниця, на якій розташовуються основні вузли та механізми верстата. Жорсткість конструкції станини забезпечується масою та наявністю великого числа ребер жорсткості. По вертикальних напрямках станини переміщується консоль. Величину вертикального переміщення визначають за допомогою лінійного датчика переміщень, закріпленого на станині. В лівій ніші станини розташовані кінцеві вимикачі, що обмежують переміщення консолі. На верхній площині станини закріплена шпиндельний вузол.

На задній поверхні станини закріплено електродвигун приводу головного руху. З лівого боку станини встановлена коробка перемикачів швидкостей. В корпусі станини розміщено резервуар для мастила. Станина встановлюється на основі і прикріплюється до неї болтами. На задній стороні основи встановлено насос змащувально-охолоджувальної рідини.

2. 8. 2. Коробка швидкостей – призначена для забезпечення шпинделю різних частот обертання. Коробка швидкостей монтується безпосередньо в корпусі станини і з'єднується з валом електродвигуна за допомогою пружної муфти. На валу двигуна

встановлюється електромагнітна муфта, що призначена для аварійного гальмування шпинделя.

2. 8. 3. Стіл та санчата. Стіл переміщується по осі X від електродвигуна та одноступінчатого редуктора з передавальним відношенням  $i = 1:2$  і передачу “гвинт - гайка кочення” з кроком гвинта  $l = 10$  мм.

Підшипникові опори ходового кулькового двигуна для подовжнього переміщення столу змонтовані в кронштейні з лівого боку та в корпусі редуктора з правого боку. Змащування підшипникових опор виконується автоматично. Переміщення столу по осі Y здійснюється по напрямних, змонтованих в консолі. Ходовий кульковий гвинт поперечного переміщення столу встановлюється в корпусі консолі, а для переміщення стола вручну передбачені квадратні виводи.

2. 8. 4. Консоль є базовим вузлом, що об'єднує приводи вертикального та поперечного переміщення столу.

Вертикальне установче переміщення консолі виконується по вертикальних напрямних станини. Вузол “Стіл і санчата” переміщується в поперечному напрямку (по осі Y), по горизонтальних напрямних консолі з прямокутним профілем.

На правій стороні корпусу консолі встановлений асинхронний електродвигун вертикального установчого переміщення, яке здійснюється через черв'ячну пару та гвинтову передачу.

2. 8. 5. Кінематична схема верстата об'єднують окремі кінематичні групи основного та допоміжного руху.

Шпиндельний вузол переміщується від окремого асинхронного двигуна і має 18 різних частот обертання. Зміна частоти обертання головного руху проводиться за рахунок перемиканням блоків шестерень в кінематичній групі.

Кінематичні ланцюги подач осей X, Y, Z виконуються від електродвигунів постійного струму.

Датчиками зворотнього зв'язку є кругові датчики фірми Heidenhain.

2. 8. 6. Фрезерна головка. Корпус головки монтують в стійці верстата. На передній частині бабки прямокутні напрямні, по яких вертикально переміщується повзун із шпиндельним вузлом.



Кульковий гвинт отримує обертання від електродвигуна через редуктор приводу, що встановлений над фрезерною бабкою. Обертання шпинделю передається від коробки швидкостей через конічну зубчасту пару та циліндрові зубчаті колеса.

2. 8. 7. Механізм закріплення інструменту - забезпечує автоматичне закріплення оправок з різальним інструментом в шпинделі верстата.

Механізм змонтований в головці шпинделя та складається із штоку з кульковим замком, кульковим підсилюючим пристроєм, пакету тарілчастих пружин та гідравлічного циліндра.

2. 8. 8. Магазин інструментальний. Використовується магазин барабанної конструкції, що дозволяє автоматичну зміну інструменту за допомогою відповідних пристроїв, що передають інструмент в шпиндель верстата і повертають назад в магазин.

Обертання магазину інструментів в гніздах якого встановлені оправки з інструментами забезпечується від гідромотору.

### 3. Перевірочні розрахунки

#### 3. 1. Розрахунок шпиндельного вузла на жорсткість.

##### 3. 1. 1. Визначення максимального режиму різання.

Режиму різання розраховуємо для чорнового фрезерування торцевою фрезою сталльної зоготівки.

Припуск складає 5 мм і знімається за один робочий хід.

Для фрезерування торцевою фрезою з пластинами із твердого сплаву Т15К6 вибираємо подачу  $S_z = 0,18$  мм при потужності головного двигуна верстата  $N=7,5$  кВт.

Визначаємо швидкість різання за формулою:

$$v = \frac{C_v D^{g_v} K_M K_\phi K_n}{T^m t^{x_v} S_z^{y_v} z^{n_v} B^{P_v}}, \text{ де}$$

де:  $C_v$  - коефіцієнт, що характеризує властивості оброблюваного матеріалу та умови оброблювання.

$$C_v = 332$$

Показники ступеня для швидкості різання:

$$g_v = 0,2;$$

$$m = 0,2;$$

$$n_v = 0,2;$$

$$\chi = 0,1;$$

$$y_v = 0,4;$$

$$P_v = 0.$$

$$K_M = \frac{750}{\delta_B} - \text{поправочний коефіцієнт, що враховує вплив на швидкість різання}$$

фізико-механічних властивостей матеріалу заготовки.

$$\delta_B = 750 \text{ МПа} - \text{для Сталі 3;}$$

$$K_M = \frac{750}{750} = 1;$$

$K_n = 0,8$  - поправочний коефіцієнт на швидкість різання, що враховує якість поверхневого шару заготовки;

$K_u = 1$  - поправочний коефіцієнт враховуючий вплив матеріалу різальної частини інструменту на швидкість різання;

$K_\varphi = 1$  - поправочний коефіцієнт враховуючий вплив головного кута в плані  $\varphi$  на швидкість різання.

Таким чином швидкість різання

$$v = \frac{332 \cdot 125^{0.2} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.8}{180^{0.2} \cdot 5^{0.1} \cdot 0.18^{0.4} \cdot 12^{0.2} \cdot 75^0} = 253,9 \text{ м/хв}$$

Частота обертання фрези

$$n = \frac{\pi \cdot D \cdot v}{1000} = \frac{3.14 \cdot 125 \cdot 253.9}{1000} \approx 100 \text{ об/хв}$$

Складові сили різання  $P_z$  визначаємо за формулою

$$P_z = \frac{C_p t^{x_p} S^{V_p} B^{u_p} Z}{D^{q_p} n^{W_p}} \cdot K_p$$

Вибираємо коефіцієнти та показники ступеня

$$C_p = 825 ;$$

$$x_p = 1 ;$$

$$y_p = 0.75 ;$$

$$u_p = 1,1 ;$$

$$q_p = 1.3 ;$$

$$W_p = 0.2 .$$

$$P_z = \frac{825 \cdot 5^1 \cdot 0.18^{0.75} \cdot 42^{1.1} \cdot 12}{125^{1.3} \cdot 100^{0.2}} \cdot 1 = 625 \text{ H} = 0,6 \text{ кН}$$

Визначаємо інші складові сили різання, відповідно до схеми на рис. 3. 1.

Складові сили різання, що діє на згин оправки:

$$P_{yz} = \sqrt{P_y^2 + P_z^2}$$

$$P_y : P_z = 0.9$$

Радіальна складова сили різання.

$$P_y = 0.6 \cdot 0.9 = 0.54 \text{ кН}$$

Ефективна потужність різання визначаємо за формулою:

$$N_c = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60}$$

$$N_c = \frac{625 \cdot 253.9}{1020 \cdot 60} = 2.6 \text{ кВт}$$

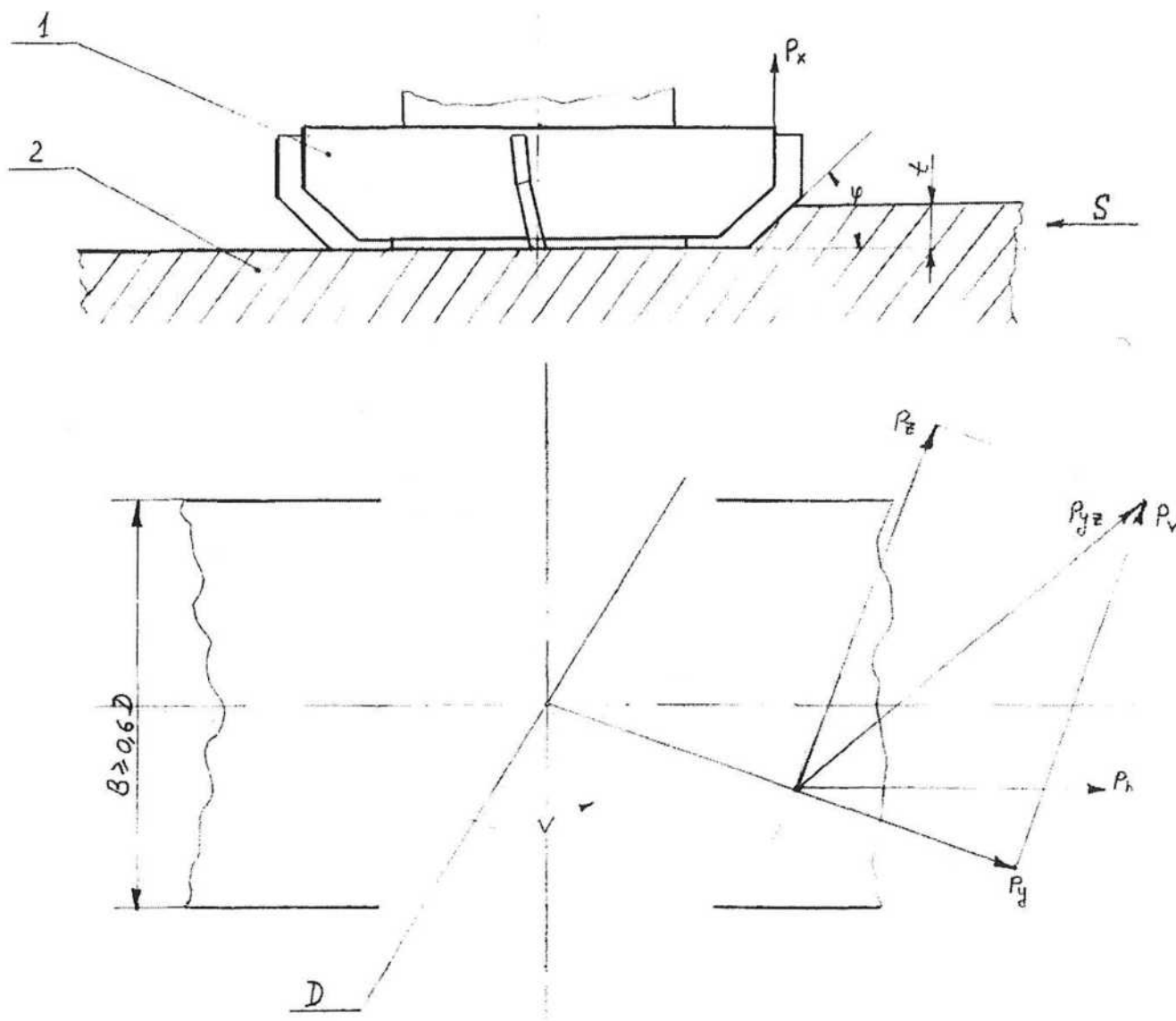


Рис. 3. 1. Складові сили різання для торцевого фрезеруванні.

1- торцева фреза; 2- заготовка.

### 3. 1. 2. Розрахунок оптимальної відстані між опорами.

Продуктивність і точність обробки визначається жорсткістю шпиндельного вузла, а його металоємність і вартість залежить від відстані між опорами.

Мета розрахунку - визначення оптимальної відстань між підшипниковими опорами, відповідно до узагальненої розрахункової схеми на рис. 3. 2.

$C_{r1}, C_{r2}$  - жорсткість опор;

$h_1, h_2$  - податливість в опорах.

Шпиндельний вузол розглядається як балка на двох опорах. На шпиндель одночасно діють сила різання  $P$  та сила  $Q$  від приводу.

Сумарний прогин шпинделя під дією сили  $P$  та  $Q$  визначаємо за

$$\text{формулою. } y = p = \left[ \frac{a^2 l (1 - \varepsilon)}{3EI_2} + \frac{a^3}{3EI_1} + \frac{[a(1 - \varepsilon) + l] + \left(\frac{C_{r1}}{C_{r2}}\right)a^2}{C_{r1} \cdot l^2} \right] \pm Q(1 - \varepsilon) \times$$

$$\times \left[ \frac{(l + a)(l + b) - \left(\frac{C_{r1}}{C_{r2}}\right)}{C_{r1} \cdot l^2} - \frac{a}{6EI_2 l} (b^2 + 2l^2 b - 3lb^2) \right]$$

де:  $a$  – виліт торця кінця шпинделя, мм;

$l$  – відстань між опорами, мм;

$\varepsilon$  – коефіцієнт заміщення у передній опорі;

$E$  – модуль пружності матеріалу шпинделя,  $\frac{H}{\text{мм}^2}$ ;

$I_1, I_2$  – осьові моменти інерції поперечного перерізу шпинделя,  $\text{мм}^4$ ;

$C_{r1}, C_{r2}$  – радіальна жорсткість передньої та задньої опор,  $\frac{\text{Н}}{\text{мм}}$ ;

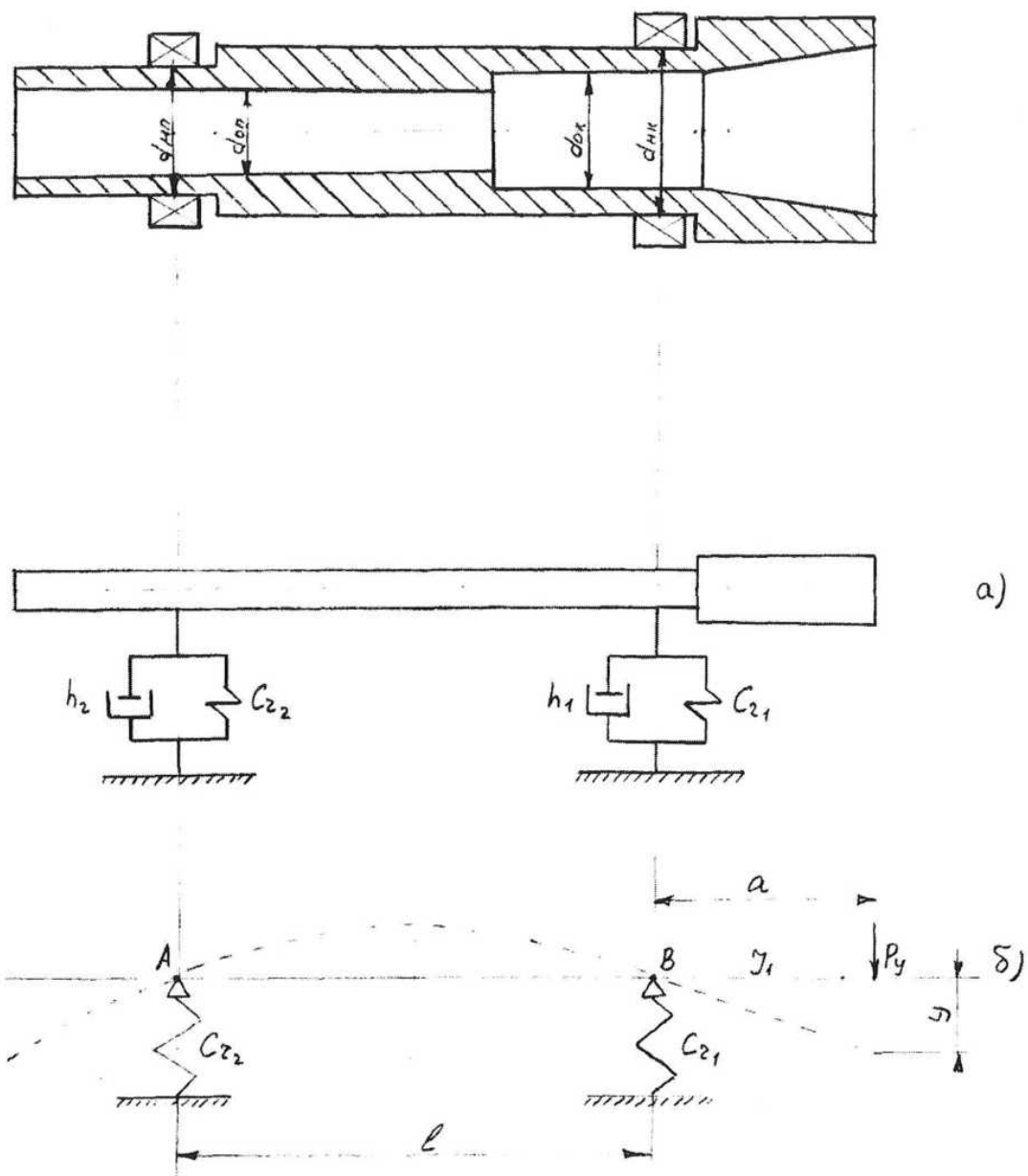


Рис. 3. 2. Шпиндельний вузол верстата та схеми розрахунку.

### 3. 2. Розрахунок механізму затиску інструменту.

#### 3. 2. 1. Розрахунок тарільчастих пружин механізму.

Відповідно до паспорту верстата зусилля затиску інструмента цанговим патроном складає приблизно 16кН.

Затиск інструменту виконується тарільчастими пружинами, максимальний хід яких дорівнює  $h_1 = 1,5\text{мм}$ .

Вибираємо тарільчасту пружину НД 60х30х3,0х1,5 відповідно до ГОСТ 3057 - 84 (рис. 27 а).

Початкове зусилля при  $f_1 = 0,65 \cdot f_m = 0,65 \cdot 1,5 = 0,975\text{мм}$ .

$$P_1 = 11500 \text{ Н}$$

Кінцеве зусилля при  $f_2 = 0,8 \cdot f_m = 0,8 \cdot 1,5 = 1,2 \text{ мм}$ .

$$P_2 = 13500 \text{ Н};$$

Величина робочої деформації однієї пружини  $f = f_2 - f_1 = 1,2 - 0,975 = 0,225 \text{ мм}$ .

Визначаємо необхідне число пружин за формулою:

$$n = \frac{h_1}{f} = \frac{1,5}{0,225} \approx 8 \text{ шт}$$

Замінивши цанговий затиск новою конструкцією кулькового замку зменшуємо хід штоку майже в два рази з 10мм до 4,5мм, що дозволяє зменшити необхідне зусилля пакету тарільчастих пружин і відповідно зменшити їх кількість. В кінцевому результаті зменшується деформація деталей механізму затиску.

Визначаємо зусилля пакету тарільчастих пружин для ходу штока 4,5мм виходячи з пропорції.

При зусиллі 15680 Н переміщення складає 10мм, а при переміщенні 4,5мм



$$15680 - 10$$

$$\Rightarrow X = \frac{15680 \cdot 4.5}{10} = 7056 \text{ H};$$

$$X - 4.5$$

Величину допуску на зусилля, що створюють тарільчасті пружин визначаємо також із цієї пружини:

$$3920 - 10$$

$$\Rightarrow X = \frac{3920 \cdot 4.5}{10} = 1764 \text{ H};$$

$$X - 4.5$$

Таким чином, зусилля затиску інструменту кульковим замком зменшується в 2, 2 рази, що відповідає 55%.

$$P_{p.y.} = 7056^{+1764} \text{ H} \langle 15680^{+3920} \text{ H}$$

Зменшення ходу штоку дозволяє зменшити кількість пружин, та величину їх дефрмаціє зменшивши  $P_2$ .

$$\Delta P_1 = P_2 - P_1 = 13500 - 11500 = 2000 \text{ H}$$

Величина робочого ходу тарільчастих пружин в цьому випадку відповідно до пропорції складає:

$$15680 - 1.5$$

$$\Rightarrow X = \frac{7056 \cdot 1.5}{15680} = 0.675 \text{ мм} = h_2;$$

$$7056 - X$$

П  $\Delta P_2$  згідно пропорції:

$$\frac{2000}{1.5} = \frac{\Delta P_2}{0.675} \Rightarrow \Delta P_2 = \frac{2000 \cdot 0.675}{1.5} = 900 \text{ H}$$

$$\text{Зусилля } P_{2(n.v.)} = \Delta P_2 + P_1 = 900 + 11500 = 12400 \text{ Н}$$

Необхідна кількість тарілчастих пружин:

$$n = \frac{h_2}{f} = \frac{0.675}{0.225} = 3 \text{ шт.}$$

Тарілчасті пружини, встановлюють попарно пакетами - секціями, що набагато збільшує їх жорсткість та надійність, як показано на рис. 3. 3. б.

Для пакету пружин вибираємо парну кількість тобто 4шт. (див. рис. 3.3. б).

Коректуємо величину ходу цих пружин:

$$h_2 = f \cdot n = 0.225 \cdot 4 = 0.9 \text{ мм}$$

Коректуємо величину сили  $\Delta P_2$ :

$$\Delta P_2 = \frac{2000 \cdot 0.9}{1.5} = 1200 \text{ Н}$$

Обчислюємо значення зусилля  $P_{2(n.v.)}$ :

$$P_{2(n.v.)} = P_1 + \Delta P_2 = 11500 + 1200 = 12700 \text{ Н}$$

Таким чином остаточне робоче зусилля затиску, що розвивається чотирьма тарілчастими пружинами визначаємо виходячи з пропорції:

$$15680 - 2000$$

$$\Rightarrow X = \frac{15680 \cdot 1200}{2000} = 9408 \text{ Н}$$

$$X - 1200$$

Отже  $P_{p.y.} = 9408^{+1764} \text{ Н.}$

### 3. 2. 2. Розрахунок зусилля гідроциліндра для розтиску різального інструмента.

Шток гідроциліндра повинен подолати зусилля пружин  $P_{p.y.}=12700$  Н.

Необхідний тиск в гідроциліндрі знаходимо по формулі:

$$P = \frac{P_{np.}}{0,785(D^2 - d^2) \cdot \eta} = \frac{12700}{0,785(9^2 - 2,4^2) \cdot 0,85} = 253 \text{ Н/см}^2 \approx 2,63 \text{ МПа},$$

де  $D=90$  мм – діаметр поршня (див. рис. 3. 4.)

$d=24$  мм – діаметр штока (див. рис. 3. 4.)

$\eta=0,85$  – ККД гідроциліндра, що враховує втрати на тертя в ущільненнях гідроциліндра.

Робочий тиск в мережі створюваний гідростанцією згідно паспорта  $P = 392 \text{ Н/см}^2$

Застосувавши механічний підсилювач з'явилася можливість знизити тиск в цій гілці централізованій системи. Якщо підсилювач збільшує силу  $P_{p.y.}$  штока зворотно пропорційному переміщенню штока, тобто в 1,2 рази, то і тиск в цій гілці можна понизити в 1,2 рази.

Необхідний тиск в гідроциліндрі при існуючій конструкції механізму кріплення інструменту.

$$P_c = \frac{13500}{0,785(9^2 - 2,4^2)0,85} = 270 \text{ Н/см}^2 > 253 \text{ Н/см}^2 \text{ більше в 1,2 рази.}$$

$$P = \frac{P_{np./1,2}}{0,785(D^2 - d^2)\eta} = \frac{12700/1,2}{0,785(9^2 - 2,4^2)0,85} = 210 \text{ Н/см}^2 \approx 2,2 \text{ МПа}$$

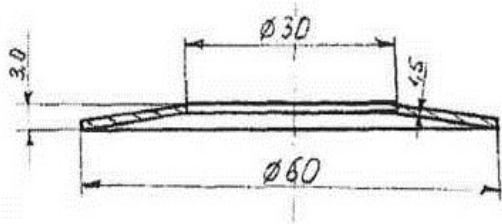


Рис. 3. 3. а) Пружина тарілчаста

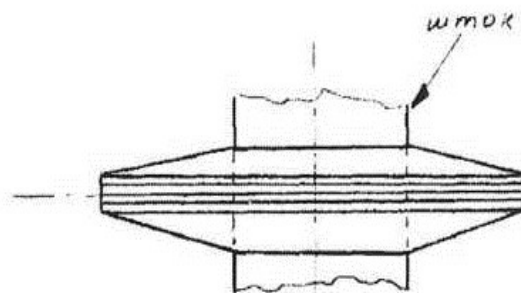


Рис 3. 3. б) Пакет здвоєних тарілчастих пружин

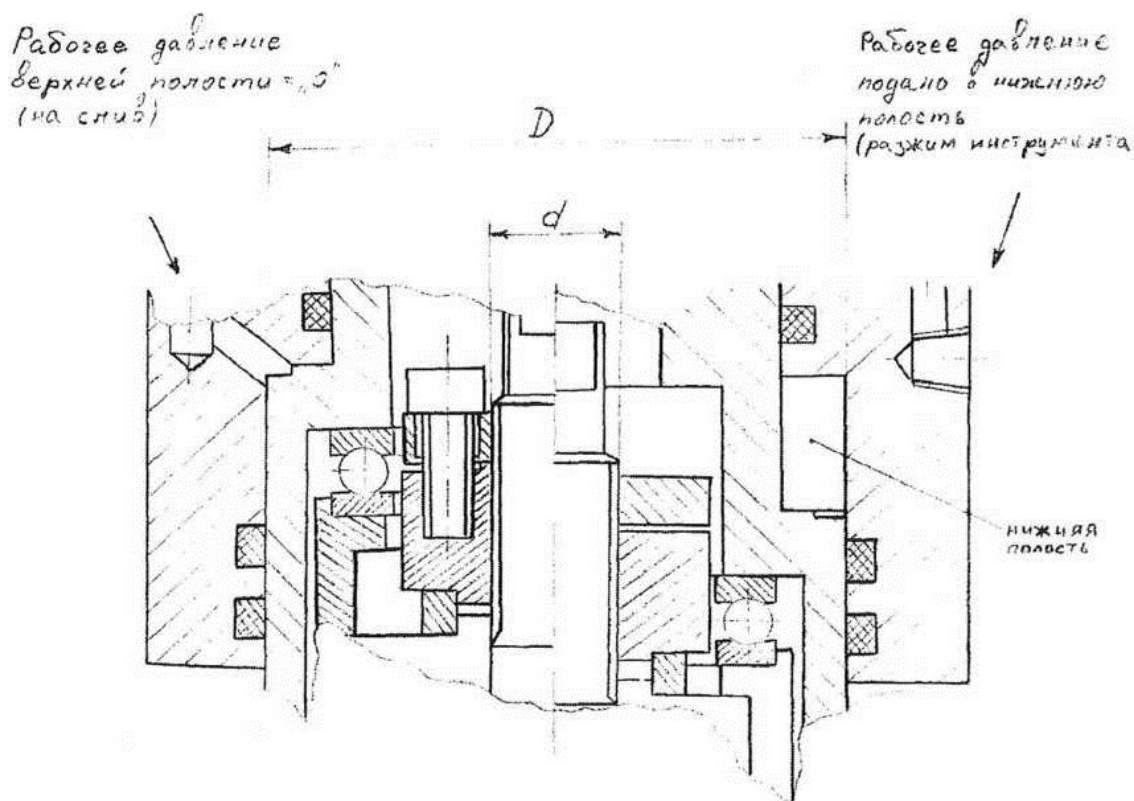


Рис. 3. 4. Гідроциліндр для розтиску інструмента, і механізмі кріплення інструмента.

### 3. 2. 3. Визначення контактної напруги в замку для закріплення інструментів.

У пропонованій конструкції замку для закріплення інструментів встановлено два ряди шарнірів. В кожному ряді по шість шарнірів 0,8 мм. Найвузькішим місцем в конструкції замку є майданчики контакту кульок з втулкою, замком (штовхачем) і зовнішньою гільзою. Розглянемо три варіанти.

1). Контактна напруга: на поверхні штовхан - кулька (рис. 3. 5. а).

2). Контактна напруга: на гільзі - кулька (рис. 3. 5. б).

3). Контактна напруга: втулка - кулька (рис. 3. 5. в).

Без розрахунків видно, що найменший контактний майданчик буде у перших двох варіантах.

Проводимо перевірочний розрахунок для контактної напруги перших двох варіантів.

$P_{\text{заж.}} = 12700 \text{ Н}$  – зусилля затиску інструменту

$n=6$  – кількість тіл кочення

$\alpha=45^\circ$  - кут передачі зусилля

Оскільки різниця радіусів кульки і штовхача значна приведемо розрахунок схеми торкання двох сферичних тіл.

$R_1=4 \text{ мм}$  – радіус кульки

$R_2=9 \text{ мм}$  – радіус поверхні штовхача

Розмір контактного майданчика який визначається по формулі:

$$a = 1.109 \cdot \sqrt{P \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \left( \frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2} \right)}$$

Якщо враховувати, що штовхач і кулька мають одну твердість  $E_1=E_2=E$ ,  $\mu_1=\mu_2=0,3$ , то розміри майданчика можна визначити по формулі:

$$a = 1.109 \cdot \sqrt[3]{\frac{P \cos \alpha}{E} \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}} = 1.109 \cdot \sqrt[3]{\frac{12700 \cdot \cos 45^\circ \cdot 0.004 \cdot 0.009}{2.1 \cdot 10^{11} (0.004 + 0.009)}} = 5.45 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 0,545 \text{ мм},$$

де  $E = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ Па}$  - модуль пружності для легованої сталі

Контакта напруга на поверхні «кулька-штовхач»

$$\sigma_K = \frac{P_{заж} \cdot \cos \alpha \cdot 4}{n \cdot a^2 \cdot \pi} = \frac{12700 \cdot \cos 45^\circ \cdot 4}{6 \cdot 0.545^2 \cdot \pi} = 6415.9 \text{ Н/мм}^2,$$

де  $\frac{\pi \cdot a^2}{n}$  - площа контакту.

Матеріал штовхача – Сталь 9ХС HRC 58... 62.

$$\text{Допустима контактна напруга } [\sigma] = 1450 \div 1600 \text{ МПа} = 145000 \div 160000 \text{ Н/см}^2$$

Отримана контактна напруга лежить нижче за допустимі межі. Що дає великий запас міцності. При виготовленні штовхача зі сталі ШХ15 тієї ж твердості запас міцності значно збільшується  $[\sigma]_{\text{конт}} = 3800 \text{ МПа}$ .

На початку розрахунку було приведено допущення, що кулька лежить на сферичній поверхні, але насправді кулька лежить в канавці штовхача, а це означає, що площа поверхні контакту значно вище. Запас міцності на поверхні «кулька – штовхач» забезпечений.

Розраховуємо контактну напругу на поверхні «гільза-кулька» (див. рис 3.5. б).

$R_1 = 4 \text{ мм}$  – радіус кульки

$R_2 = 15 \text{ мм}$  – радіус гільзи (внутрішній).

Площа торкання двох тіл – еліпс.

Визначаємо розміри і площу еліпса. Якщо  $E_1 = E_2 = E$  і  $\mu_1 = \mu_2 = 0,3$

$$\text{то} \quad a = 1.397 \cdot n_a \sqrt{\frac{P \cdot \cos 45^\circ}{E} \cdot \frac{R_1 R_2}{2R_2 - R_1}},$$

де  $n_a = \frac{A}{B}$  - відхилення коефіцієнтів рівняння еліпса торкання.

$$A = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{4} - \frac{1}{15} \right) = 0.092 \quad ;$$

$$B = \frac{1}{2R_1} = \frac{1}{2 \cdot 4} = 0.125 \quad ;$$

$$\frac{A}{B} = \frac{0.092}{0.125} = 0.7360 \quad ,$$

приймаємо, що  $n_a = 1.117$

Решта всіх даних для подальшого розрахунку відома.

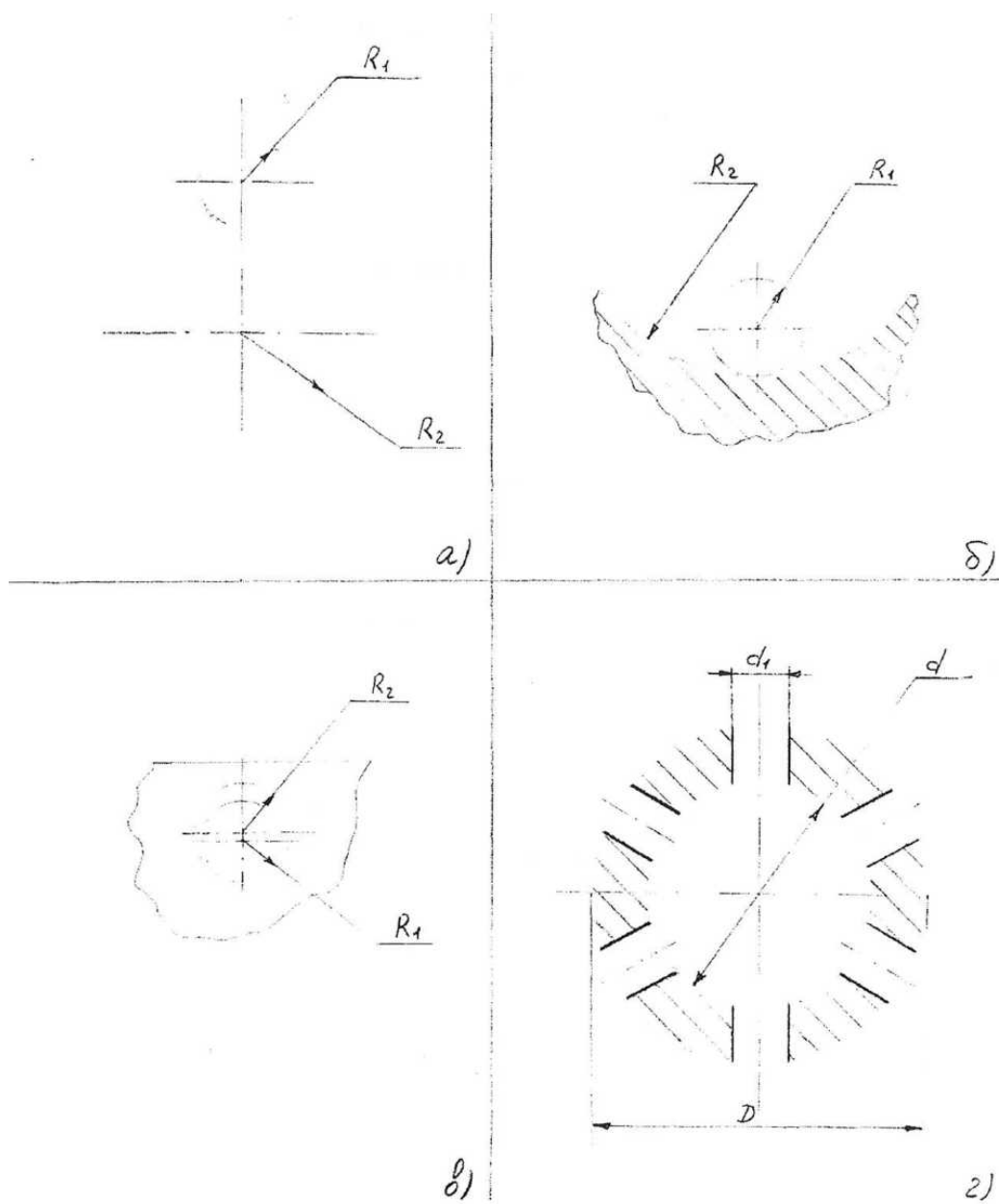


Рис. 3. 5. Схема розрахунку замка для закріплення інструменту



$$a = 1.397 \cdot 1.117 \sqrt[3]{\frac{12700 \cos 45^\circ \cdot 0.004 \cdot 0.015}{2.1 \cdot 10^{11} (2 \cdot 0.015 - 0.004)}} = 7.21 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 0,7 \text{ мм}$$

Визначаємо другу вісь еліпса контактного майданчика.

Оскільки  $\frac{A}{B} = 0,7360$ , то приймаємо, що  $n_e = 0,9005$ .

$$b = 1.397 \cdot 0.9005 \sqrt[3]{\frac{12700 \cos 45^\circ \cdot 0.004 \cdot 0.015}{2.1 \cdot 10^{11} (2 \cdot 0.03 - 0.004)}} = 5.81 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 0,581 \text{ мм}$$

Визначаємо площу контакту на поверхні «гільза-кулька»:

$$F = \pi \cdot a \cdot b = \pi \cdot 0.721 \cdot 0.581 = 1.316 \text{ мм}^2$$

Контактна напруга на поверхні «гільза-кулька»

$$\sigma_k = \frac{P_{\text{заж}} \cos \alpha}{nF} = \frac{12700 \cos 45^\circ}{6 \cdot 1.316} = 1137.3 \text{ Н/мм}^2 = 11,373 \text{ Н/см}^2$$

Матеріал гільзи – Сталь 9ХС HRC 58...62.

Контактна допустима напруга  $[\sigma] = 145000 \div 160000 \text{ Н/см}^2$ .

Отримана контактна напруга лежить нижче за допустимі межі. Що дає великий запас міцності. Але для того, щоб виключити поєднання деталей однієї твердості краще виготовити гільзу з того ж металу HRC 48...56.

Контактна допустима напруга  $[\sigma] = 300 \cdot HB = 300 \cdot 512 = 153600 \text{ Н/см}^2$ ,

Запас міцності на поверхнях «гільза-кулька» забезпечена. Необхідно перевірити на розрив гільзу в місцях установки кульок:

$$F = 0.785(D^2 - d^2) - 6d_1 \left( \frac{D - d}{2} \right),$$

де  $D$  – зовнішній діаметр,  $d$  – внутрішній діаметр,  $d_1$  – діаметр отвору під кульку.

$$F = 0.785(32^2 - 19^2) - 6 \cdot 8 \left( \frac{32 - 19}{2} \right) = 208 \text{ мм}^2.$$

Напруга розтягування в цій гільзі:  $\sigma_p = \frac{P}{F} = \frac{12700}{2} = 6350 \text{ Н/см}^2$

Отже є двократний запас міцності.

3. 2. 4. Визначення контактної напруги на поверхнях конусів механічного підсилювача.

Для розрахунку розглянемо два варіанти: штовхан знаходиться в крайньому верхньому положенні і в крайньому нижньому.

Крайнє верхнє положення визначає кількість шарнірів, які можна встановити в механічний підсилювач. У цьому положенні кульки зведені до осі шпинделя і розміщуються на колі  $\varnothing 43 \text{ мм}$ , довжина цього кола.

$$\pi \cdot d = 43 \cdot 3.14 = 135 \text{ мм}$$

Коли штовхан знаходиться в крайньому нижньому положенні поверхні, кульки максимально навантажені. Сила  $P_{зав}$  рівномірно розподіляється між всіма кульками і тертя - ковзання.

У всіх трьох випадках розглянутих нижче

$$P = \frac{P_{\text{зав}}}{n \cdot n_1} = \frac{12700}{9 \cdot 3} = 470.4 \text{ Н},$$

де  $n$  – кількість тіл кочення;

$n_1$  – кількість деталей, на яких рівномірно розподіляється навантаження див. рис. 25.

Розглянемо три варіанти:

- 1) Контактна напруга на поверхні: «штовхач-кулька» (рис.3.6. а);
- 2) Контактна напруга «кулька-втулка» (рис. 3.6. б);
- 3) Контактна напруга «кулька-шток» (рис. 3.6. в).

Без розрахунку видно, що в других двох випадках розміри контактного майданчика більші.

Різниця радіусів кульки і конуса значна, пляма контакту матиме форму еліпса.

$R_1=7 \text{ мм}$  – радіус кульки;

$R_2=20 \text{ мм}$  – радіус поверхні штовхача.

Розрахунок розмірів майданчика контакту проводимо по схемі торкання-сферичне тіло і циліндр.

Відразу визначаємо значення коефіцієнтів  $n_a$  та  $n_b$ .

Коефіцієнти рівняння еліпса торкання:

$$A = \frac{1}{2R_1} = \frac{1}{2 \cdot 7} = 0.072;$$

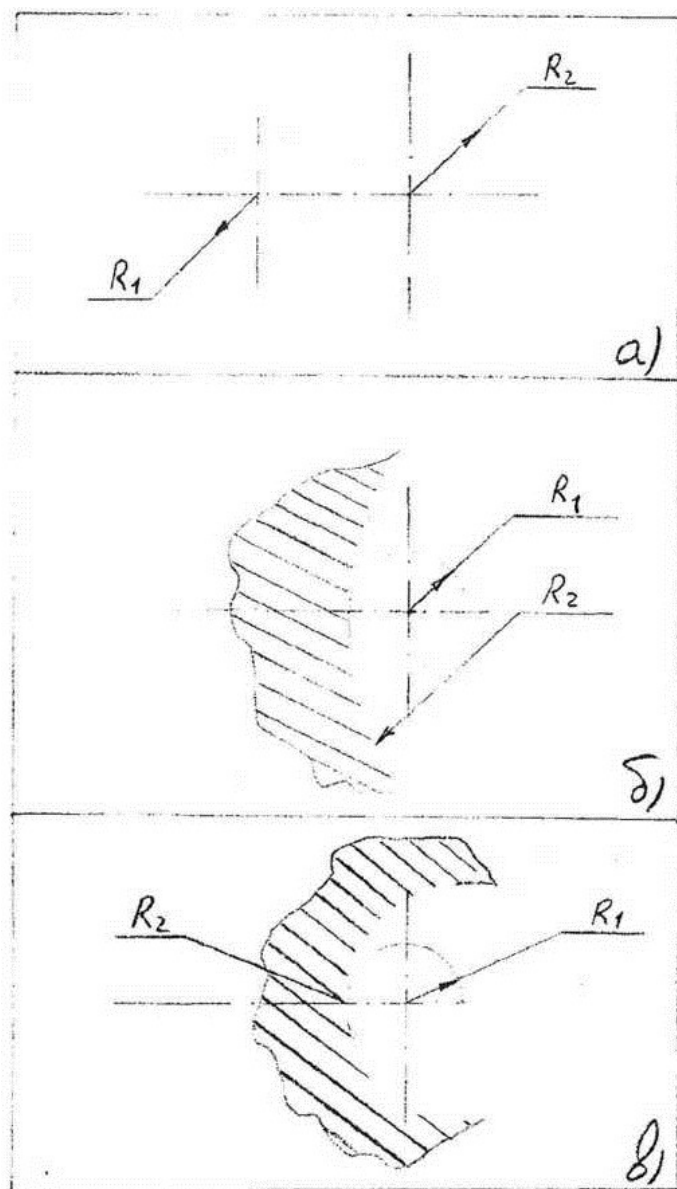


Рис. 3.6. Схеми розрахунку контактних деформацій на поверхні конусів механічного підсилювача.

$$B = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{7} + \frac{1}{20} \right) = 0.096;$$

$$A = \frac{0,072}{0,096} = 0,75;$$

Приймаємо, що  $n_a=1.095$ ,  $n_b=0.9165$ .

$$a(b) = 1.145 \cdot n_a(n_b) \cdot \sqrt[3]{P \frac{R_1 + R_2}{2R_2 + R_1} \left( \frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2} \right)}$$

Якщо допустити, що  $E_1=E_2=E$  і  $\mu_1=\mu_2=0,3$ , то

$$a = 1.397 \cdot n_a \sqrt[3]{\frac{P}{E} \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{2R_2 + R_1}} = 1.397 \cdot 1.095 \cdot \sqrt[3]{\frac{470.4 \cdot 0.007 \cdot 0.02}{2.1 \cdot 10^{11} (2 \cdot 0.02 + 0.007)}} = 2.88 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 0,288 \text{ мм};$$

$$b = 1.397 \cdot n_b \sqrt[3]{\frac{P}{E} \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{2R_2 + R_1}} = 1.397 \cdot 0.9165 \cdot \sqrt[3]{\frac{470.4 \cdot 0.007 \cdot 0.02}{2.1 \cdot 10^{11} (2 \cdot 0.02 + 0.007)}} = 2.41 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 0,241 \text{ мм};$$

Визначаємо площу контакту на поверхні «штовхач-кулька»:

$$F = \pi \cdot a \cdot b = 3.14 \cdot 0.288 \cdot 0.241 = 0.218 \text{ мм}^2$$

Контактна напруга на поверхні «штовхач-кулька»:

$$\sigma_K = \frac{P}{F} = \frac{470,4}{0,218} = 2157,8 \text{ Н/мм}^2 = 21,578 \text{ Н/см}^2,$$

що набагато нижче допустимої  $[\sigma] = 145000 \div 160000 \text{ Н/см}^2$ .

На поверхні «штовхач-кулька» механізму підсилювача є запас міцності. Решту варіантів не розглядаємо, оскільки в тих випадках площа не значно більше.

### 3. 3. Розрахунок оптимальної компоновки коробки швидкостей.

#### 3. 3. 1. Аналіз та технічні характеристики базової коробки швидкостей.

Металорізальні верстати, особливо верстати загального призначення, повинні забезпечувати зміну швидкостей різання і подач в широкому діапазоні з метою отримання вигідніших режимів різання при виконанні різноманітних операцій.

Основними технічними характеристиками верстата, що визначають його виробничі можливості є:

а) граничні частоти обертання шпинделя (числа подвійних ходів столів і ін.)  $n_{\max}$  і  $n_{\min}$ .

б) проміжні значення частот обертання шпинделя (чисел подвійних ходів столів і ін.) між  $n_{\max}$  і  $n_{\min}$  і ін.

в) потужність електродвигуна.

У сучасних універсальних верстатах діапазон регулювання частот обертання шпинделя коливається у великих межах, що пояснюється необхідністю обробки деталей з різних матеріалів, неоднаковими інструментами і виконанням різноманітних операцій. Для забезпечення необхідної швидкості різання верстат повинен мати безступінчасту зміну частот обертання шпинделя. В даний час ще не створені економічно вигідні для всіх випадків приводи безступінчастого

регулювання, тому приводи головного руху більшості верстатів проектується ступінчастими. Для того, щоб верстат із ступінчастим приводом працював економічно на кожному ступені, проміжні частоти обертання між  $n_{\max}$  і  $n_{\min}$  повинні давати постійне падіння швидкості при переході від одного числа оборотів до іншого. Для всіх інтервалів ряду частот обертання шпинделя абсолютна і відносна втрата швидкості буде однаковою, тобто верстат працює в рівноцінних експлуатаційних умовах на всіх ступенях. Для геометричного ряду із знаменником  $\varphi$  слідує  $n_2 = n_1 \varphi$ ;  $n_3 = n_2 \varphi = n_1 \varphi^2 = n_4 \varphi = n_1 \varphi^3 \dots$

$$n_z = n_{z-1} \varphi = n_1 \varphi^{z-1}$$

Стосовно частот обертання шпинделя (при  $\varphi > 1$ ) можна записати:

$$n_z = n_{\max}, n_1 = n_{\min}$$

Згідно паспорта і робочих креслень даного верстата в цілях зручності, залишаємо незмінними наступні величини:

Частоти обертання:  $n_{\min} = 40$  об/хв;  $n_{\max} = 2000$  об/хв;

із знаменником ряду  $\varphi = 1,25$ ;

діаметри валів, мм: I=42; II=50; III=60; IV=75;

міжцентрова відстань між валами, мм:

I-II=110

II-III=128

III-IV=180;

мінімальна кількість зубів шестерні, шт:  $z = 16$ ;

кількість швидкостей (частот обертання шпинделя)  $z = 18$ ;

Знаючи діапазон регулювання частот обертання шпинделя  $R_n$  і задаючись значенням  $\varphi=1.25$  можна визначити число ступенів частот обертання шпинделя:

$$R_n = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} = \frac{2000}{40} = 50 = \varphi^{z-1} = \varphi^{18-1} \approx 50$$

перевіряємо 
$$z = 1 + \frac{\lg R_n}{\lg \varphi} = 1 + \frac{\lg 50}{\lg 1,25} = 18,5 \approx 18$$

Задаючись значенням  $z$ , можна (знайти) перевірити знаменник геометричного ряду.

$$\varphi = \sqrt[z-1]{R_n} = \sqrt[18-1]{50} = 1.258 \approx 1.25 = \sqrt[10]{10} = \sqrt[3]{2}$$

Значення знаменника ряду  $\varphi$  визначає галузевий стандарт ОСТУ 2 Н 11 - 1 - 72 рекомендує застосовувати в основному знаменники ряду  $\varphi=1,25; 1,41; 1,58$ .

При проектуванні верстатів середніх розмірів в більшості випадків приймають значення знаменника ряду  $\varphi = 1,25$  і  $\varphi = 1,41$ , оскільки вони цілком забезпечують необхідні експлуатаційні умови.

Значення  $z$  не повинне бути дуже великим числом, але в той же час воно повинне мати достатнє число ступенів швидкості, наближаємо по можливості до безступінчатого приводу.

В цілях спрощення конструкції коробки швидкостей можна застосовувати багато швидкісний електродвигун.

Коробки швидкостей універсальних верстатів повинні мати більше число ступенів швидкості і менше значення знаменника  $\varphi$ , оскільки вони призначаються для обробки багатьох деталей і для виконання різних робіт. Коробка швидкостей спеціального верстата може мати невелике число ступенів швидкості, оскільки ці



верстати створюються для обробки певних деталей або ж для виконання окремих операцій.

Для вибору проміжних частот обертання шпинделя користуються галузевим стандартом ОСТ Н 11 - 1 - 72 «Переважні числа і ряди переважних чисел». Цей стандарт розповсюджується на ряди частот обертання, чисел подвійних ходів, подач.

З додатку 1 виписуємо наступні значення частот обертання шпинделя в хвилину:  
 $n_{\min} = 40 = n_1$ ;  $n_2 = 50$ ;  $n_3 = 63$ ;  $n_4 = 80$ ;  $n_5 = 100$ ;  $n_6 = 125$ ;  $n_7 = 160$ ;  $n_8 = 200$ ;  $n_9 = 250$ ;  $n_{10} = 315$ ;  $n_{11} = 400$ ;  $n_{12} = 500$ ;  $n_{13} = 630$ ;  $n_{14} = 800$ ;  $n_{15} = 1000$ ;  $n_{16} = 1250$ ;  $n_{17} = 1630$ ;  $n_{18} = 2000 = n_{\max}$

Як видно, граничні частоти обертання  $n_{18}$  та  $n_1$  заокруглені до нормальних значень.

### 3. 3. 2. Вибір електродвигуна

До початку розробки кінематичної схеми верстата слід приблизно визначити потужність електродвигуна, оскільки вона впливає на вибір типів передач в кінематичних ланцюгах.

У приводах подачі сучасних верстатів з ЧПК застосовують високомоментні електродвигуни серії ПБВ із збудженням від постійних магнітів або двигуни постійного струму серії 2П, ПБС з електромагнітним збудженням. У малих верстатах іноді застосовують мало інерційні двигуни серії ПГ. У всіх випадках доцільно використовувати двигуни з внутрішнім вбудованим тахогенератором.

Правильний вибір електродвигуна, особливо по потужності, правильна його установка мають важливе значення для нормальної роботи верстата. Якщо потужність електродвигуна занижена, то можливості верстата не будуть повністю використані. Завищення потужності веде до систематичному недовантаженню електродвигуна і відповідно пониженню ККД.

Найбільшого поширення (до 90%) у верстатобудуванні набули коротко замкнуті електродвигуни.

Так само в приводі верстатів застосовують багато швидкісні електродвигуни, у яких частоти обертання змінюються при перемиканні полюсів в два рази ( $n_{\text{синхр}} = 750/1500$  або  $750/1500/3000$  об/хв;  $500/1000/1500$ ;  $500/3000$  об/хв); для того, щоб частоти обертання при перемиканні полюсів електродвигуна, були членами геометричного ряду.

При застосуванні цих електродвигунів швидкості у верстаті можна перемкнути на ходу, відсутня необхідність у використанні додаткових механізмів для зміни швидкості. При цьому підвищуються технологічні і експлуатаційні якості верстатів, знижується трудомісткість їх виготовлення, пуск верстата можна здійснити при мінімальній швидкості обертання електродвигуна, знижується значення пускового струму, зменшуються електричні втрати.

Потужність електродвигуна головного руху:

$$N_{\text{эл}} = \frac{N_{\epsilon}}{N_{\text{эл}}}$$

де  $N_{\epsilon} = 2,6$  кВт – корисна потужність різання, при найбільш ефективному режимі;  $\eta_{\text{гл}}$  – ККД ланцюга головного руху;

Враховуючи можливість перевантаження електродвигуна на 25% для універсальних, а в деяких випадках і для спеціалізованих верстатів, можна прийняти:

$$N_{\text{эл}} = \frac{N_{\epsilon}}{1,25\eta_{\text{эл}}}$$

Точне значення ККД на кожному ступені швидкості можна визначити експериментально після виготовлення верстата. При попередніх розрахунках по формулі (8) і (9) можна визначити  $\eta_{\text{гл}} = 0,75$  і  $0,85$  для верстатів з обертальним головним рухом.

$$N_{\text{эл}} = \frac{2,6}{1,25 \cdot 0,75} \approx 3 \text{ кВт}$$

Для кінематичних розрахунків приводів у верстатобудуванні використовують, як правило, графоаналітичний метод (можна застосовувати і чисто аналітичний метод). При графоаналітичному методі послідовно будують структурну сітку і графік частот обертання.

Структурні сітки будують для того, щоб в наочній формі виявити всі можливі варіанти і вибрати оптимальний варіант структури кінематичних ланцюгів верстата.

Структурна сітка містить наступні дані про привід: кількість груп передач, число передач в кожній групі, відносний порядок конструктивного розташування груп (тобто їх характеристики і зв'язок між передавальними відносинами), діапазон регулювання групових передач і всього приводу, число ступенів частот обертання провідного і веденого валів групової передачі.

Графік частот обертання будують для визначення конкретних значень величин передавальних відносин всіх передач приводу і частот обертання всіх його валів; він дозволяє вибрати їх оптимальні значення.

Критеріями для вибору оптимального варіанту кінематичної схеми приводу верстата на стадії розробки схеми є протяжність кінематичних ланцюгів, яку завжди бажано скорочувати по економічних міркуваннях, а також для скорочення числа джерел погрешностей і для підвищення ККД. Крім того, із зменшенням числа перемикачів передач підвищується загальна надійність приводу.

### 3. 3. 3. Розрахунок та проектування модернізованої коробки швидкостей.

Варіант структурної сітки наявний на даному верстаті відповідно до робочих креслень (рис. 3.7.). Структурна формула  $z = 18 = 3 \cdot [1] \cdot 3 \cdot [3] \cdot 2 \cdot [9]$ .

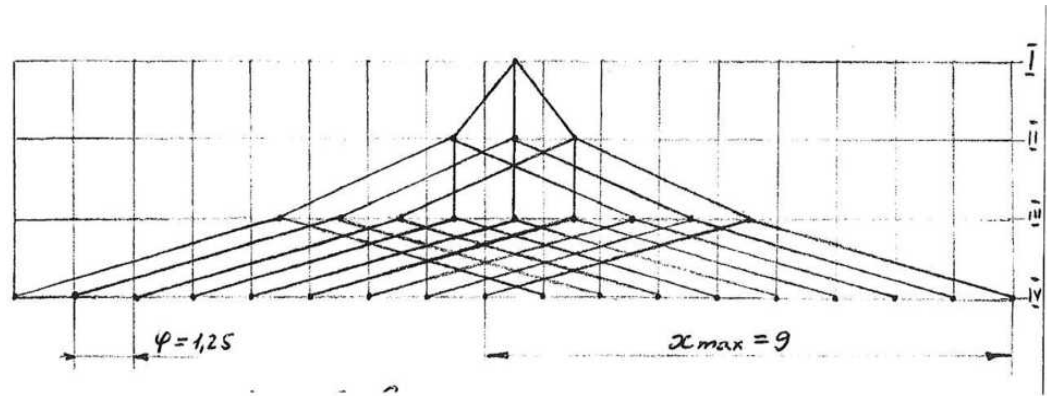


Рис. 3. 7. Структурна сітка

Графік частот обертання необхідно будувати так, щоб передавальні відносини були в допустимих межах  $\left( i_{\min_{\text{пред}}} \geq \frac{1}{4} u i_{\max_{\text{пред}}} \leq 2 \right)$ , тобто щоб число інтервалів ( $X_{\max}$ ) між лініями, що умовно означають передачі, при вибраному значенні  $\varphi=1,25$  не перевищує.

Для зменшення маси приводу бажано також, щоб число передач в групах зменшувалося від електродвигуна до шпинделя, тобто  $P_a \rangle P_b \rangle P_c \rangle \dots P_k$ . Одиночні понижуючі передачі слід розміщувати ближче до шпинделя.

Аналізуючи дану структурну форму і сітку приходимо до висновку - компоновка даної коробки швидкостей є не ефективною і суперечить табличним даним приведеним раніше, тобто підвищуюча передача від валу IV до валу V дорівнює

4,5 > 3,0, що є перевищенням стандартної межі. Тому потрібна модернізація даної коробки швидкостей з метою підвищення її ККД і ефективності приводу головного руху.

Знаходимо найбільш ефективну структурну формулу, для найбільш зручною компоновки даної коробки швидкостей.

$$18 = 3 \cdot [1] \cdot 2 \cdot [3] \cdot 3 \cdot [6]$$

$$18 = 2 \cdot [1] \cdot 3 \cdot [2] \cdot 3 \cdot [6]$$

$$18 = 2 \cdot [3] \cdot 3 \cdot [6] \cdot 3 \cdot [1]$$

$$18 = 2 \cdot [1] \cdot 3 \cdot [6] \cdot 3 \cdot [2]$$

$$18 = 3 \cdot [6] \cdot 2 \cdot [1] \cdot 3 \cdot [2]$$

$$18 = 3 \cdot [6] \cdot 2 \cdot [1] \cdot 3 \cdot [2]$$

$$18 = 2 \cdot [3] \cdot 3 \cdot [1] \cdot 3 \cdot [6]$$

$$18 = 3 \cdot [1] \cdot 2 \cdot [9] \cdot 3 \cdot [3]$$

$$18 = 3 \cdot [2] \cdot 2 \cdot [1] \cdot 3 \cdot [6]$$

$$18 = 3 \cdot [1] \cdot 3 \cdot [6] \cdot 2 \cdot [3]$$

$$18 = 3 \cdot [3] \cdot 3 \cdot [1] \cdot 2 \cdot [9]$$

$$18 = 3 \cdot [6] \cdot 2 \cdot [3] \cdot 3 \cdot [1]$$

$$18 = 3 \cdot [3] \cdot 2 \cdot [9] \cdot 3 \cdot [1]$$

Ці приведені варіанти структурних формул є не ефективними, оскільки в кожному з них існує передача, що підвищує, велика ніж  $\phi^3$ .

Залишається лише два варіанти структурних формул що залишаються в границі

$$\left( i_{\min_{пред}} \geq \frac{1}{4} i i_{\max_{пред}} \leq 2 \right).$$

$$18 = 2 \cdot [9] \cdot 3 \cdot [3] \cdot 3 \cdot [1]$$

$$18 = 2 \cdot [9] \cdot 3 \cdot [1] \cdot 3 \cdot [3]$$

заміну передачі  $2 \cdot [9]$  можливо здійснити застосуванням асинхронного двох швидкісного електродвигуна з синхронною частотою обертання  $n = 1500 / 750 \text{ об/хв}$ .

Двигун асинхронний 4АМХ160Б 8/4 50 Гц, 220В, 1М1081 ТУ 16 - 526 580 - 84 (це двигун з мінімальною потужністю 6).

Зупинимось на варіанті  $z = 18 = 2 \cdot [9] \cdot 3 \cdot [1] \cdot 3 \cdot [3]$ .

Будуємо структурну сітку

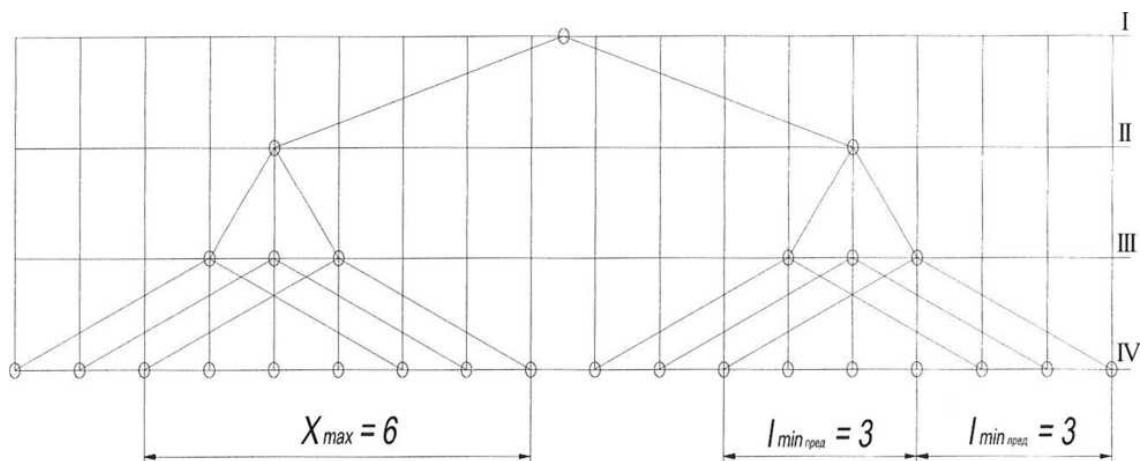


Рис. 3.8. Структурна сітка

Будуємо графік частот обертання валу V і порівняємо його з графіком частот, що є на верстаті.



само внаслідок цього позбавляємося від двох валів в коробці перемикання швидкостей, що дає нам значний матеріальний і економічний ефект.

Знаючи найменше число зубів шестерні і міжцентрові відстані між валами знаходимо передавальне відношення передач.

Знаходимо передавальне значення між валами II і III

$$i_1 = \frac{1}{\varphi^6} = \frac{z_1}{z_2} = \frac{1}{1.25^6} \approx \frac{4}{16};$$

$$i_2 = \frac{1.12}{1} = \frac{z_3}{z_4} = \frac{10}{9};$$

Отже:  $f_1 + g_1 = 4 + 16 = 20 = 2 \cdot 5 \cdot 2$

$f_2 + g_2 = 10 + 9 = 19 = 2 \cdot 5 \cdot 1.9$

Звідси найменше кратне суми ( $f_x + g_x$ ) буде  $K = 2 \cdot 5 \cdot 2 = 20$ .

Визначаємо числа зубів спряжених коліс при  $A_1 = 110$  мм

$$z_1 = A_1 \frac{f_1}{f_1 + g_1} = 110 \frac{4}{4 + 16} = 110 \frac{4}{20} \approx 23;$$

$$z_2 = A_1 \frac{g_1}{f_1 + g_1} = 110 \frac{16}{10 + 9} = 110 \frac{16}{20} \approx 87;$$

$$z_3 = A_1 \frac{f_2}{f_2 + g_2} = 110 \frac{10}{10 + 9} = 110 \frac{10}{19} \approx 58;$$

$$z_4 = A_1 \frac{g_2}{f_2 + g_2} = 110 \frac{9}{10 + 9} = 110 \frac{9}{19} \approx 52;$$

Знаходимо значення модуля по формулі:

$$m_2 = m_1 = \frac{2A_1}{z_1} \cdot \frac{f_1}{f_1 + g_1} = \frac{2 \cdot 110}{23} \cdot \frac{4}{20} \approx 2;$$

$$m_4 = m_3 = \frac{2A_1}{z_3} \cdot \frac{f_3}{f_3 + g_3} = \frac{2 \cdot 110}{58} \cdot \frac{10}{19} \approx 2;$$



Передавальне відношення групи передач між валами III і IV.

$$i_3 = \frac{1}{\varphi^2} = \frac{z_5}{z_6} = \frac{1}{1.25^2} \approx \frac{7}{11};$$

$$i_4 = \frac{1}{\varphi^3} = \frac{z_7}{z_8} = \frac{1}{1.25^3} \approx \frac{6}{12};$$

$$i_5 = \frac{1}{\varphi^4} = \frac{z_9}{z_{10}} = \frac{1}{1.25^4} \approx \frac{3}{7};$$

Отже, знаходимо:

$$f_3 + g_3 = 7 + 11 = 18 = 3 \cdot 3 \cdot 2;$$

$$f_4 + g_4 = 6 + 12 = 18 = 3 \cdot 3 \cdot 2;$$

$$f_5 + g_5 = 3 + 7 = 10 = 5 \cdot 2;$$

Звідси знаходимо найменше кратне суми  $(f_x + g_x)$  буде  $K = 3 \cdot 3 \cdot 2 = 18$ .

Визначаємо числа зубів спряжених коліс, знаючи міжцентрову відстань  $A_2 = 128$  мм.

$$z_5 = A_2 \cdot \frac{f_3}{f_3 + g_3} = 128 \frac{7}{7+11} \approx 50;$$

$$z_6 = A_2 \cdot \frac{g_3}{f_3 + g_3} = 128 \frac{11}{7+11} \approx 78;$$

$$z_7 = A_2 \cdot \frac{f_4}{f_4 + g_4} = 128 \frac{6}{6+12} \approx 42;$$

$$z_8 = A_2 \cdot \frac{g_4}{f_4 + g_4} = 128 \frac{12}{6+12} \approx 86;$$

$$z_9 = A_2 \cdot \frac{f_5}{f_5 + g_5} = 128 \frac{3}{3+7} \approx 38;$$

$$z_{10} = A_2 \cdot \frac{g_5}{f_5 + g_5} = 128 \frac{7}{7+3} \approx 90;$$

Знаходимо значення модуля по формулі:

$$m_5 = m_6 = \frac{2A_2}{z_6} \cdot \frac{g_3}{f_3 + g_3} = \frac{2 \cdot 128}{78} \cdot \frac{11}{18} \approx 2;$$

$$m_7 = m_8 = \frac{2A_2}{z_7} \cdot \frac{f_4}{f_4 + g_4} = \frac{2 \cdot 128}{42} \cdot \frac{6}{18} \approx 2;$$

$$m_9 = m_{10} = \frac{2A_2}{z_9} \cdot \frac{f_5}{f_5 + g_5} = \frac{2 \cdot 128}{38} \cdot \frac{3}{10} \approx 2;$$

Розраховуємо передавальне відношення між валами IV і V:

$$i_6 = \frac{1}{\varphi^3} = \frac{z_{11}}{z_{12}} = \frac{1}{1.25^3} \approx \frac{6}{12};$$

$$i_7 = \frac{1}{1} = \frac{z_{13}}{z_{10}} = 1 = \frac{9}{9};$$

$$i_8 = \varphi^3 = \frac{z_{15}}{z_{14}} = 1.25^3 \approx \frac{12}{6};$$

Отже:

$$f_6 + g_6 = 6 + 12 = 18 = 3 \cdot 3 \cdot 2;$$

$$f_7 + g_7 = 9 + 9 = 18 = 3 \cdot 3 \cdot 2;$$

$$f_8 + g_8 = 12 + 6 = 18 = 3 \cdot 3 \cdot 2;$$

Звідси знаходимо найменше кратне суми  $(f_x + g_x)$  буде  $K = 3 \cdot 3 \cdot 2 = 18$ .

Визначаємо числа зубів спржених коліс при  $A_3 = 180$  мм:

$$z_{11} = A_3 \frac{f_6}{f_6 + g_6} = 180 \frac{6}{6 + 12} = 180 \frac{6}{18} \approx 60;$$

$$z_{12} = A_3 \frac{g_6}{f_6 + g_6} = 180 \frac{12}{6 + 12} = 180 \frac{12}{18} \approx 120;$$

$$z_{10} = z_{13} = A_3 \frac{f_7}{f_7 + g_7} = 180 \frac{9}{9 + 9} = 180 \frac{9}{18} \approx 90;$$

$$z_{14} = A_3 \frac{g_8}{f_8 + g_8} = 180 \frac{6}{6 + 12} = 180 \frac{6}{18} \approx 60;$$

$$z_{15} = A_3 \frac{f_8}{f_8 + g_8} = 180 \frac{12}{6 + 12} = 180 \frac{12}{18} \approx 120;$$

Знаходимо значення модулів:

$$m_{11} = m_{12} = \frac{2A_3}{z_{11}} \cdot \frac{f_6}{f_6 + g_6} = \frac{2 \cdot 180}{60} \cdot \frac{6}{18} = 2;$$

$$m_{10} = m_{13} = \frac{2A_3}{z_{10}} \cdot \frac{f_7}{f_7 + g_7} = \frac{2 \cdot 180}{90} \cdot \frac{9}{18} = 2;$$

$$m_{15} = m_{14} = \frac{2A_3}{z_{14}} \cdot \frac{g_8}{f_8 + g_8} = \frac{2 \cdot 180}{60} \cdot \frac{6}{18} = 2;$$

Як видно з розрахунків модуль всіх зубчатих коліс рівний  $m = 2$ , це дає невелику економію металу, а також підвищує ККД коробки; додає плавне зчеплення між

зубчатими колесами, що істотно впливає на точність обробки заготовки; значно знижує шум при роботі коробки; знижує коефіцієнт тепловиділення і деформації шестерень і валів; зменшує товщину зубчатого вінця шестерень, отже, зменшує відстань між опорами валів, що вабить до збільшення жорсткості верстата, а значить, підвищує його точність і термін служби і так далі

Тепер розраховуємо значення величин ширини вінців зубчатих коліс по формулі

$$b\omega = \psi_d d\omega_1,$$

де коефіцієнт ширини зубчатого вінця для всіх шестерень виготовлених із Сталі 40X  $\psi_d = 0.30$  згідно. Діаметр початкового кола шестерень знаходимо по формулі

$$d\omega_1 = mz$$

Знаходимо діаметри початкових кіл, мм:

$$d\omega_1(z_2) = m \cdot z_2 = 2 \cdot 87 = 174 \text{ мм};$$

$$d\omega_1(z_4) = m \cdot z_4 = 2 \cdot 52 = 104 \text{ мм};$$

$$d\omega_1(z_5) = m \cdot z_5 = 2 \cdot 50 = 100 \text{ мм};$$

$$d\omega_1(z_7) = m \cdot z_7 = 2 \cdot 42 = 84 \text{ мм};$$

$$d\omega_1(z_9) = m \cdot z_9 = 2 \cdot 38 = 76 \text{ мм};$$

$$d\omega_1(z_{11}) = m \cdot z_{11} = 2 \cdot 60 = 120 \text{ мм};$$

$$d\omega_1(z_{10}) = m \cdot z_{10} = 2 \cdot 50 = 100 \text{ мм};$$

$$d\omega_1(z_{14}) = m \cdot z_{14} = 2 \cdot 60 = 120 \text{ мм};$$

Розраховуємо величини їх значення ширини вінців зубчастих шестерень:

$$b\omega_1(z_1z_2) = \psi d \cdot d\omega_1(z_2) = 0.3 \cdot 174 = 52 \text{ мм};$$

$$b\omega_1(z_3z_4) = \psi d \cdot d\omega_1(z_4) = 0.3 \cdot 104 = 31 \text{ мм};$$

$$b\omega_1(z_5z_6) = \psi d \cdot d\omega_1(z_5) = 0.3 \cdot 100 = 30 \text{ мм};$$

$$b\omega_1(z_7z_8) = \psi d \cdot d\omega_1(z_7) = 0.3 \cdot 84 = 25 \text{ мм};$$

$$b\omega_1(z_9z_{10}) = \psi d \cdot d\omega_1(z_9) = 0.3 \cdot 76 = 23 \text{ мм};$$

$$b\omega_1(z_{11}z_{12}) = \psi d \cdot d\omega_1(z_{11}) = 0.3 \cdot 120 = 36 \text{ мм};$$

$$b\omega_1(z_{13}z_{10}) = \psi d \cdot d\omega_1(z_{10}) = 0.3 \cdot 100 = 30 \text{ мм};$$

$$b\omega_1(z_{15}z_{14}) = \psi d \cdot d\omega_1(z_{14}) = 0.3 \cdot 120 = 36 \text{ мм};$$

На основі цих даних зображаємо кінематичну схему коробки швидкостей рис. 3.11.

Як видно з рис.3.11. зубчате колесо винесене за межі опор валів, оскільки воно дуже велике (заважатиме обертанню валу ІІІ).

Оскільки відомо, що максимальний момент, що крутить, виникає на зубчатому колесі, що має найнижчу частоту обертання, отже, на цьому колесі і виникають максимальні навантаження. Це шестерня  $z_{12} = 120$  рис. 3.12., її частота обертання  $n_{\min}=40$  об/хв. Для цього зубчатого колеса робимо розрахунок на контактну міцність зубів.

Визначаємо величини необхідні для розрахунку.

Номінальний момент, що крутить, на шестерні

$$T_{F_1} = 9550 \cdot 10^3 \frac{N}{n} = 9550 \cdot 10^3 \frac{6}{40} = 143 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}$$

Коефіцієнт, що враховує форму зв'язаних поверхонь:  $z_n=1.76$ .

Коефіцієнт, що враховує механічні властивості металу зубчатого колеса (формула 3.29. [8]) :  $z_M=275 \text{ Мпа}^{1/2}$  для сталевих коліс.

Коефіцієнт торцевого перекриття:

$$\varepsilon_d = 1.88 - 3.2 \left( \frac{1}{z} + \frac{1}{z} \right) = 1.8$$

Коефіцієнт, що враховує сумарну довжину контактних ліній:

$$Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_d}{3}} = \sqrt{\frac{4 - 1.8}{3}} = 0.86$$

Коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження між зубами для прямозубих коліс  
 $K_{H_d} = 1$ .

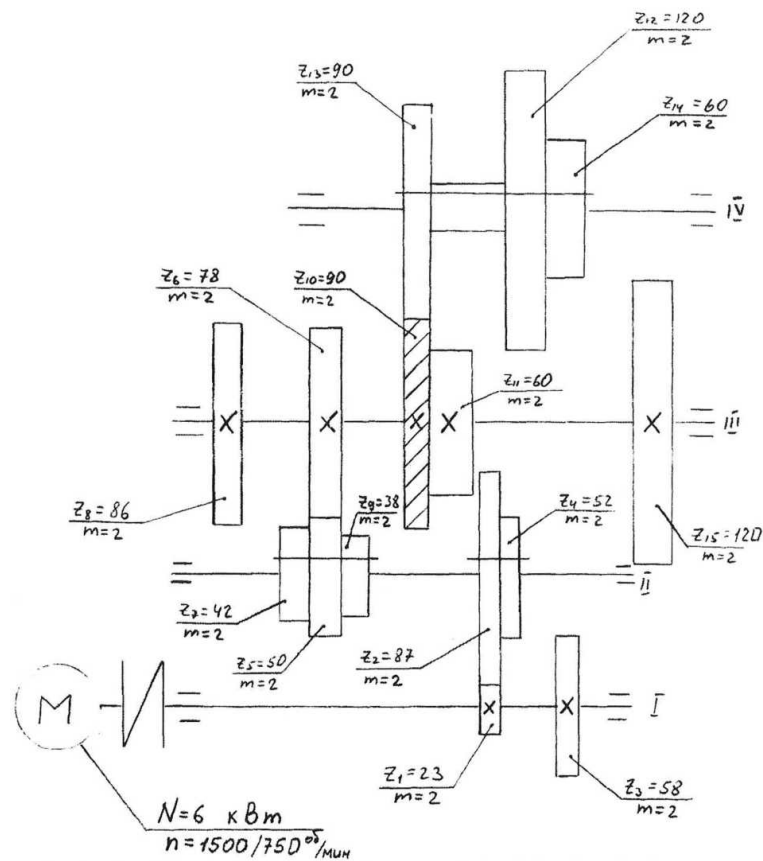


Рис. 3.11. Кінематична схема спроектованої коробки швидкостей.



$$\sigma_{н.м.} = \sigma_n \sqrt{\frac{T_m}{T_1}} \leq [\sigma_{mm}]; \quad [\sigma_{mm}] = 2,8 \cdot 650 = 1820 \text{ МПа}$$

Обчислюємо контактну напругу від номінального навантаження:

$$\sigma_n = z_H \cdot z_M \cdot z_\varepsilon \sqrt{\frac{2T_{F_1} \cdot K_{H_d} \cdot K_{H_\beta} \cdot K_{H_v}}{b \omega d \omega_1^2} \cdot \frac{u+1}{u}}, \text{ де } u = 2 - \text{передавальне число};$$

$d\omega_1 = 240 \text{ мм}$  - знайдений раніше дільний діаметр;

$d\omega = 36 \text{ мм}$  - знайдена величина ширини зубчатих вінців;

$$\sigma_n = 1,76 \cdot 275 \cdot 0,86 \sqrt{\frac{2 \cdot 143 \cdot 10^4 \cdot 1 \cdot 1,6 \cdot 1,05}{36 \cdot 240^2} \cdot \left(\frac{2+1}{2}\right)} = 776 \text{ МПа} < 1820 \text{ МПа}$$

Отже кількість зубів шестерні вибрано вірно.

Тепер визначаємо чи вірно вибраний модуль для кожного зубчатого колеса коробки швидкостей. Залежно від допустимого відсотка зносу зубів по товщині визначається по формулі:  $m = \sqrt[3]{y[\sigma_u]\psi_m \cdot m}$ , де  $\psi_m = \frac{b\omega}{m} = \frac{36}{2} = 18$  - коефіцієнт

ширини колеса;  $[\sigma_u]$  - напруга вигину, що допускається  $z_m = 275 \text{ МПа}$ .

$y = 0,6$  – коефіцієнт форми зуба для шестерні  $z_{12} = 120$ .

Перевіряємо значення вибраного модуля для шестерні  $z_{12} = 120$  при частоті обертання  $n = 40 \text{ об/хв}$ ;  $y = 0,6$ .

$$m = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 143 \cdot 10^4}{0,6 \cdot \frac{36}{2} \cdot 120}} = 2,002 \approx 2.$$

Для зубчастних коліс  $z_{13}$  і  $z_{10} = 90$ ;  $y = 0,6$ ;  $n = 80 \text{ об/хв}$ ;  $d\omega = 30 \text{ мм}$ .



$$m = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \left( 9550 \cdot 10^3 \cdot \frac{6}{80} \right)}{0.47 \cdot \frac{30}{2} \cdot 90 \cdot 275}} = 1,9 \approx 2.$$

Для шестерні  $z_9=38$ ;  $y=0.47$ ;  $d\omega=23$  мм;  $n=200$  об/хв;

$$m = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \left( 9550 \cdot 10^3 \cdot \frac{6}{160} \right)}{0.5 \cdot \frac{30}{2} \cdot 275 \cdot 60}} = 2,2 \approx 2.$$

Для зубчатого колеса  $z_{14}=60$ ;  $y=0.5$ ;  $d\omega=36$  мм;  $n=160$  об/хв;

$$m = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \left( 9550 \cdot 10^3 \cdot \frac{6}{160} \right)}{0.5 \cdot \frac{36}{2} \cdot 275 \cdot 60}} = 1,7 \approx 2.$$

Для шестерні  $z_6=78$ ;  $y=0.53$ ;  $d\omega=25$  мм;  $n=125$  об/хв;

$$m = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \left( 9550 \cdot 10^3 \cdot \frac{6}{125} \right)}{0.53 \cdot \frac{25}{2} \cdot 275 \cdot 78}} = 1,9 \approx 2.$$

Для шестерні  $z_8=86$ ;  $y=0.53$ ;  $d\omega=25$  мм;  $n=100$  об/хв;

$$m = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \left( 9550 \cdot 10^3 \cdot \frac{6}{100} \right)}{0.53 \cdot \frac{25}{2} \cdot 275 \cdot 86}} = 1,94 \approx 2.$$

Для зубчатого колеса  $z_7=42$ ;  $y=0.47$ ;  $d\omega=25$  мм;  $n=200$  об/хв;

$$m = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \left( 9550 \cdot 10^3 \cdot \frac{6}{200} \right)}{0.47 \cdot \frac{25}{2} \cdot 275 \cdot 42}} = 2.$$

Для шестерні  $z_5=50$ ;  $y=0.48$ ;  $d\omega=30$  мм;  $n=200$  об/хв;

$$m = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \left( 9550 \cdot 10^3 \cdot \frac{6}{200} \right)}{0.48 \cdot \frac{30}{2} \cdot 275 \cdot 50}} = 1,8 \approx 2.$$

Для шестерні  $z_4=52$ ;  $y=0.49$ ;  $d\omega=31$  мм;  $n=200$  об/хв;

$$m = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \left( 9550 \cdot 10^3 \cdot \frac{6}{200} \right)}{0.49 \cdot \frac{31}{2} \cdot 275 \cdot 52}} = 1,82 \approx 2.$$

Для шестерні  $z_2=87$ ;  $y=0.42$ ;  $d\omega=26$  мм;  $n=200$  об/хв;

$$m = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \left( 9550 \cdot 10^3 \cdot \frac{6}{200} \right)}{0.42 \cdot \frac{26}{2} \cdot 275 \cdot 87}} = 1,65 \approx 2.$$

Для шестерні  $z_3=58$ ;  $y=0.49$ ;  $d\omega=31$  мм;  $n=750$  об/хв;

$$m = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \left( 9550 \cdot 10^3 \cdot \frac{6}{750} \right)}{0.49 \cdot \frac{31}{2} \cdot 275 \cdot 58}} = 1,2 \approx 2.$$

Для зубчатого колеса  $z_1=27$ ;  $y=0.41$ ;  $d\omega=26$  мм;  $n=750$  об/хв;

$$m = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \left( 9550 \cdot 10^3 \cdot \frac{6}{750} \right)}{0.41 \cdot \frac{26}{2} \cdot 275 \cdot 27}} = 1,6 \approx 2.$$

Як видно з перевірочних розрахунків, загалом, модуль коробки швидкостей вибраний вірно.

#### 4. Інструментальне забезпечення фрезерного верстату.

##### 4.1. Кінцеві фрези

Для підвищення продуктивності фрезерування пазів та уступів на верстатах із сучасним програмним забезпеченням використовують дві основні схеми: фрезерування з підвищеними швидкостями та фрезерування з великими подачами.

Відповідно до цих схем передові фірми розробляють і відповідні конструкції кінцевих фрез.

Фрези для швидкісного фрезерування характеризуються високою стійкістю та низькими вібраціями, надійним рівномірним видаленням стружки із зони різання, відсутністю наростоутворення, що дозволяє високоефективно оброблювати важкооброблювані матеріали такі як високолеговані сталі, титанові сплави, нікелеві та інші.

Так науково-виробниче об'єднання «Імперія металлов» пропонує широкий вибір інструментів, що дозволяють вирішувати задачі по оброблюванню різноманітних матеріалів на фрезерних верстатах.



Тип № Стр.	Изображение изделия	Чугун	Углеродистая сталь	Легированная, инструменталь- ная сталь	Предварит. закаленная сталь	Наклеванная сталь	Титановые сплавы	Жаропрочные и высокоуглерод- истые сплавы	Закаленная сталь 50–55 HRC	Закаленная сталь 55 HRC–
UHW Стр. 90		----	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★	----	----
UHR Стр. 91		----	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★	----	----
UEW-3T Стр. 92		★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★	----	----
UEW-4T Стр. 93		★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★	----	----
WUB Стр. 94		★★★	★★★	★★★	★★★	★★	★	★	★	----
WWB Стр. 95		★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★	★	----
UPS Стр. 96		★★★	★★★	★★★	★★★	★★	★★	★	★★	★
UPZ Стр. 97		★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★	★★	★
UPA Стр. 100		----	★★★	★★★	★★★	★★	★	★	----	----
UPW Стр. 101		★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★	★★	★	----
UPE Стр. 102		★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★	★★	★	----
UPER Стр. 103		★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★	★★	★	----
UPG Стр. 104		★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★	★★	★	----
UPH Стр. 105		★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★	★★	★	----
UPF Стр. 106		★★★	★★★	★★★	★★★	★★	★	★	★	----
UPJ Стр. 107		----	★★★	★★★	★★★	★★★	★	★	★★	★

Рис. 4. 1. Якість обробки різних матеріалів кінцевими фрезами

Також представлені фрези, що дозволяють оброблювати високо тверді матеріали з великими швидкостями.



Рис. 4. 2. Кінцева фреза




Тип № Стр.	Изображение изделия	Чугун	Углеродистая сталь	Легированная, инструментальная сталь	Предварит. закаленная сталь	Нержавеющая сталь	Титановые сплавы	Закаленная сталь 50-55HRC	Закаленная сталь 55-60HRC	Закаленная сталь 60-65HRC
<b>UBT-4T</b> Стр. 46		★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★	★★★★	★★★★	★★★★
<b>UOB</b> Стр. 47		★	★	★★	★★	★	-----	★★★★	★★★★	★★★★
<b>UBX</b> Стр. 48		★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★	★★	★
<b>UNBX</b> <b>UIBX, UJBX</b> Стр. 49		★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★	★★	★
<b>UBT-2T</b> Стр. 50		★★	★★	★★★★	★★★★	★★	★★	★★★★	★★★★	★★
<b>UNBT</b> <b>UIBT, UJBT</b> Стр. 51		★★	★★	★★★★	★★★★	★★	★★	★★★★	★★★★	★★
<b>UQB</b> Стр. 52		★★★★	★★	★★★★	★★★★	★★	★★	★★★★	★★★★	★★★★
<b>UBG</b> Стр. 54		★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★
<b>UNBG</b> <b>UIBG</b> Стр. 55		★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★
<b>UB</b> Стр. 56		★★	★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★	★★★★	★	-----
<b>UNB</b> <b>UIB, UJB</b> Стр. 57		★★	★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★	★★★★	★	-----
<b>UPB</b> Стр. 58		★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★	★★	★	-----
<b>USB</b> Стр. 59		★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★	★★	★	-----
<b>UOR</b> Стр. 60		★★★★	★★	★★★★	★★★★	★	-----	★★★★	★★	★
<b>UKR</b> Стр. 62		★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★	★★★★	★	★
<b>UNR</b> Стр. 63		★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★	★★	★★	★	-----
<b>UXR</b> Стр. 64		★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★	★★	★	-----

Рис. 4. 3. Якість обробки різних матеріалів кінцевими фрезами

Фрези з нерівномірним кроком різальних зубів та змінним кутом підйому гвинтової канавки покращують вібростійкість фрез на великих швидкостях, ідеально підходять для швидкісного бокового фрезерування, фрезерування шпоночних пазів при швидкостях до 200м/хв і вище.

ХЕА 4-х зубые				
     				
Концевые фрезы				
Тип №	D1 диаметр	L1 длина реж. части	L3 общая длина	D2 диаметр хвостовика
ХЕА0304	3.0	6	50	6
ХЕА0404	4.0	9	50	6
ХЕА0504	5.0	11	50	6
ХЕА0604	6.0	13	50	6
ХЕА0804	8.0	16	60	8
ХЕА1004	10.0	22	75	10
ХЕА1204	12.0	26	75	12
ХЕА1604	16.0	36	100	16
ХЕА2004	20.0	40	100	20

Рис. 4. 4. Різновиди кінцевої фрези ХЕА

Використання цих фрез на базовому верстаті дозволить суттєво підвищити продуктивність та якість оброблених деталей.

#### 4.2. Торцеві фрези

Цей вид застосовується найчастіше для обробки площин на вертикально-фрезерних верстатах. На відміну від циліндричного типу, де фреза є профілюючою і утворює поверхні деталей, у торцевого виду робочими залишаються вершини гострих кромки зубів.

Самі торцеві кромки є додатковими, а основна робота здійснюється бічними загостреними краями, які знаходяться зовні цієї деталі. Навіть маючи невелику величину припуску, такий інструмент забезпечує досить

рівну роботу. Це відбувається через те, що кут зіткнення у торцевих фрез з оброблюваної деталлю залежить не від показника припуску, а від діаметра ріжучого інструменту і ширини процесу фрезерування.

У порівнянні з циліндричним типом, торцева фреза є більш жорсткою і масивною. Це забезпечує зручність розміщення і надійність закріплення ріжучих елементів і оснащення їх твердими сплавами. Торцеве фрезерування характеризується набагато більшою продуктивністю. Саме тому на сьогоднішній день роботи з фрезерування площин здійснюються торцевими видами інструменту.

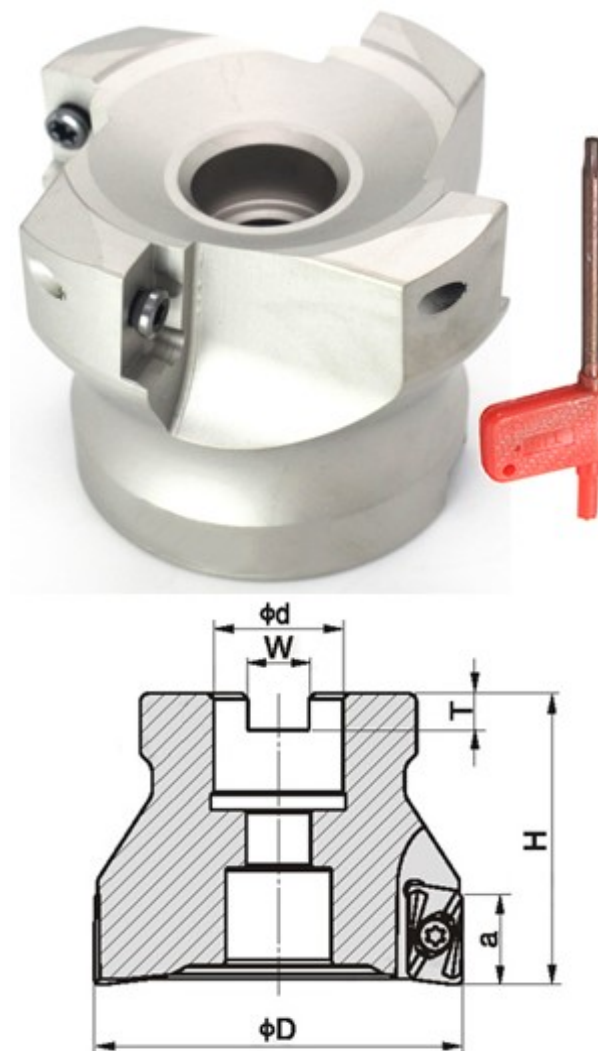


Рис. 4. 5. Насадна торцева фреза ВАР 400R

$d=22-27$

$H=50$

- корпусу фрез з кутом в плані  $90^\circ$
- надійне кріплення корпусу на оправці
- пластина з 2-ма ріжучими крайками
- застосовується для обробки пазів і уступів під ідеально прямим кутом а також контурної обробки
- висока щільність забезпечує максимальну продуктивність
- плавне різання

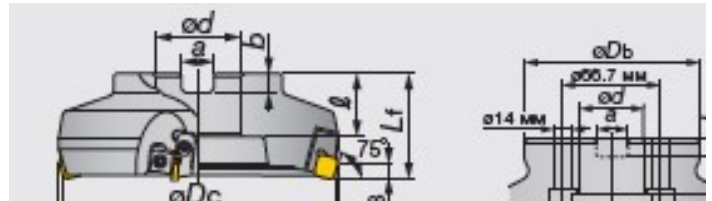


Рис. 4. 6.  $75^\circ$  торцеві фрези TGP4100RIA з клиновим затиском пластин фірми TaeguTec

#### 4. 3. Дискові фрези

Дискові фрези призначаються для обробки прямокутних уступів (двосторонні фрези) і пазів (тристоронні фрези).



Діаметр фрези слід вибирати виходячи з заданих розмірів обробки.

При цьому враховано, що при фрезеруванні повинен залишатися зазор 5-8 мм між проставочними кільцями оправки і поверхнею заготівки.

Зуби стандартних тристоронніх фрез розміщені в корпусі в шаховому порядку і мають різне спрямування (фрези з різноспрямованими зубами), так що суміжні зуби обробляють різні стінки паза. Внаслідок цього поліпшується поділ і відведення стружки, підвищується стійкість інструменту.



Рис. 4. 7. Фреза дискова відрізна Nutex Mini carbide, фірми ALESA

Надзвичайна комбінація дискових лез та оправки в одному інструменті вказує на системи Nutex, Nutex Mini та Nutex Plus фірми ALESA.

$$d_1 = 15 \dots 32 \text{ мм}$$

$$d_2 = 5 \text{ мм}$$



Рис. 4. 8. Фреза дискова для обробки канавок, фасак, радіусів фірми SECO

### Характеристики:

- Системи з твердими твердосплавними головками для контролю затрат на обробку
- Ширина різання 0,7-5,15 мм
- Діапазон діаметра пластин 9,7-34,7 мм

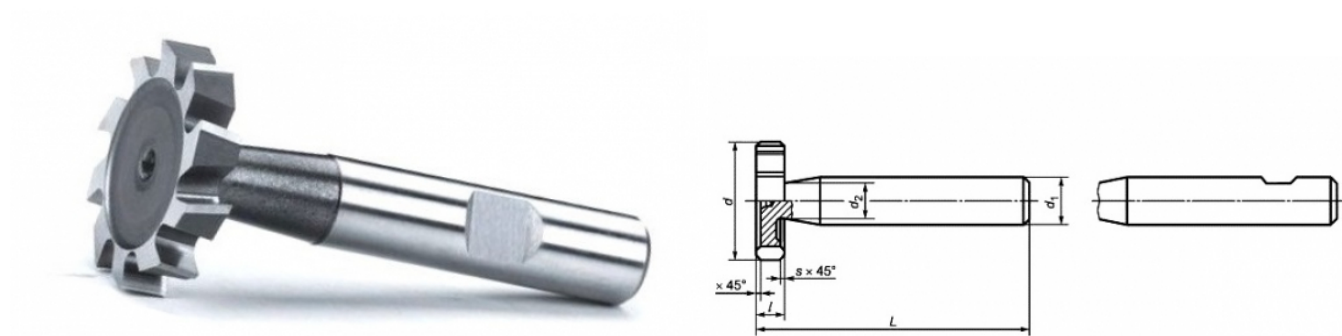


Рис. 4. 9. Фреза дискова для пазів сегментних шпонок фірми РИНКОН

d=22 мм

### 5. Опис верстатного пристосування і принципу його роботи

Спроектуємо пристосування для операції 005 - вертикально-фрезерна з ЧПК, на якій виконується фрезерування площини основи і обробка перпендикулярних ним отворів M10-7H.

Пристосування складається із зварного корпусу, на якому закріплюються стійки, в яких встановлені опори для установки деталі. До корпусу за допомогою гвинтів кріпиться серьга. На вісь надітий прихват і шайби. Прихват віссю сполучений з тягою. У одну із стійок корпусу пригвинчені опори і законтрагаєні гайками.

Гідроциліндр кріпиться болтами до корпусу пристосування, а його шток сполучений з тягою.

Корпус пристосування встановлюється на стіл верстата, базується за допомогою пальців і закріплюється болтами.

Заготівка встановлюється на 3 сферичні точкові опори площиною, перпендикулярною площині основи і площиною, перпендикулярною площині основи - ще на дві опори (5 ступенів вільності). Шоста ступінь вільності позбавляється за допомогою упору.

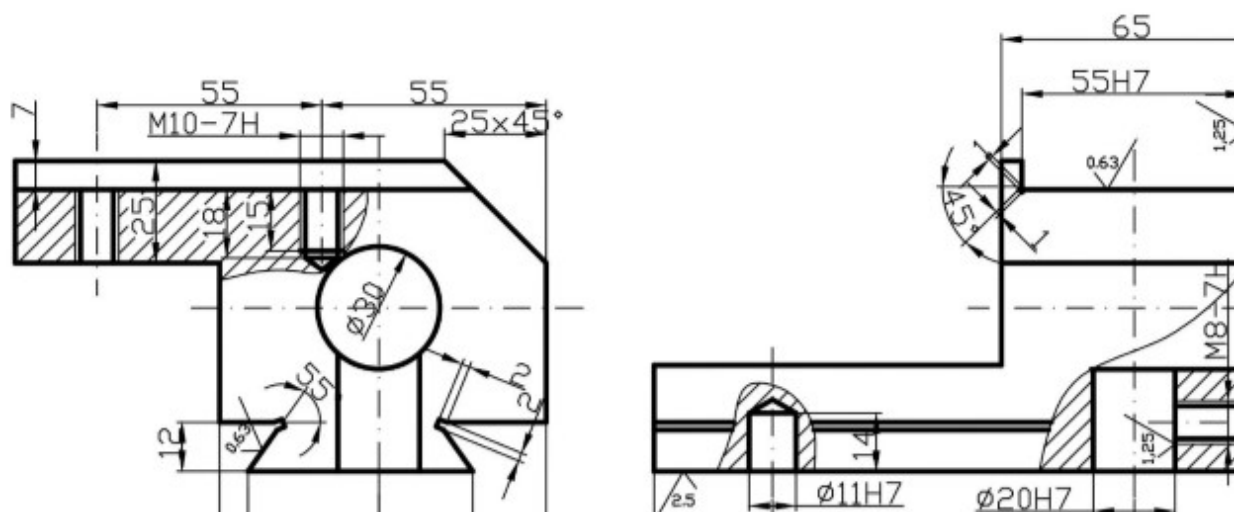


Рис. 5. 1. Креслення типової деталі “Кронштейн”

Схема базування деталі а даній операції показана на рис.2.

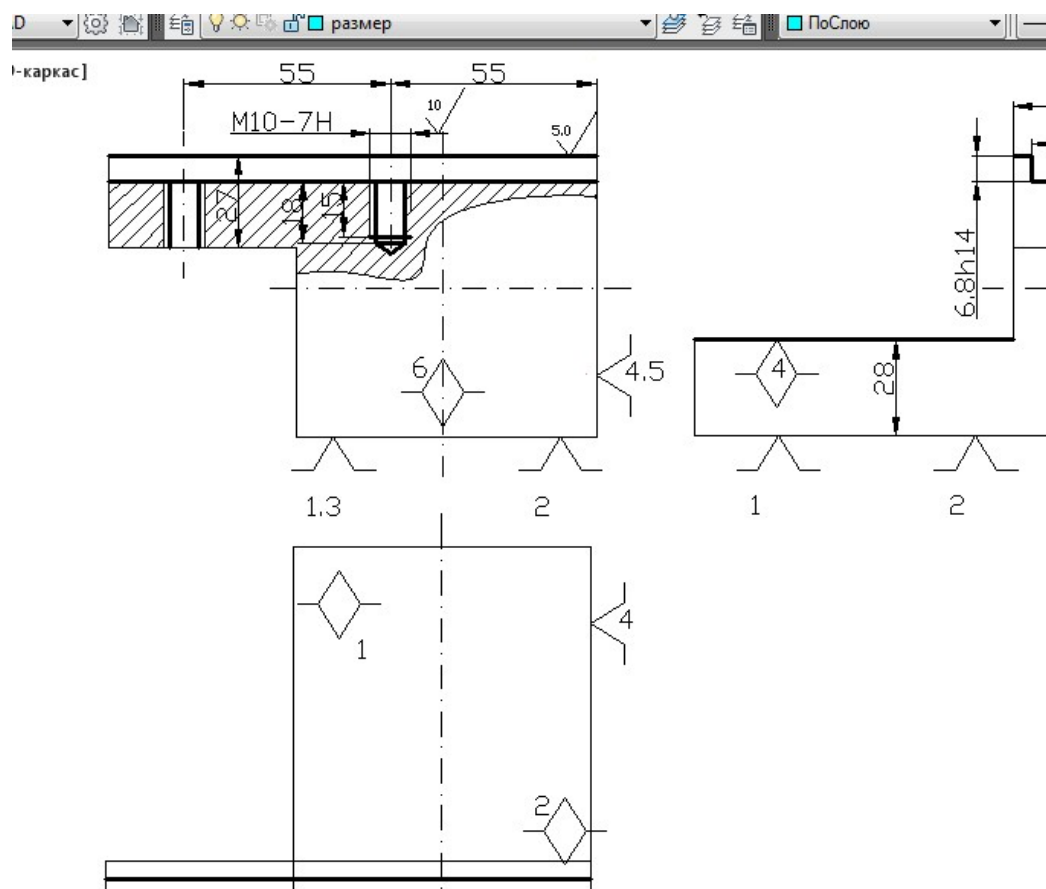


Рис. 5. 2. Схема базування деталі на операції 005

При подачі масла під тиском 10МПа в праву порожнину гідроциліндра поршень з штоком переміщається і через тягу затискає деталь прихватом.

## Висновки

Метою магістерської дисертації є покращення технічних характеристик фрезерного верстату.

Для досягнення поставленої мети в магістерській дисертації були вирішені наступні задачі:

на базі вертикально-фрезерного верстата з ЧПК були модернізовані окремі вузли ;

в механізмі затиску інструменту замість затиску в цанзі використано механізм затиску з кульками, що дозволило . підвищити надійність роботи;

виконано заміну системи ЧПК на сучасну фірми Heidenhain, що дозволило суттєво скоротити час на підготовку програм оброблювання та підвищити якість виготовлених деталей;

виконано аналіз сучасних високопродуктивних інструментів провідних фірм та вибрані з найкращими властивостями по продуктивності та стійкості, що дозволило суттєво покращити якість та продуктивність оброблювання;

виконано аналіз датчиків для кутових переміщень та щупів для верстатів з ЧПК фірми Heidenhain та використані для даного верстата, що дозволило підвищити точність позиціонування виконавчих органів верстата;

сконструйовано пристосування для оброблювання типової деталі і наведено приклад такого оброблювання;

розроблено креслення та програму оброблювання деталі Шпангоут з використанням програмного забезпечення фірми Heidenhain, що виготовляється з використанням фрезерного верстата з ЧПК.

Розрахований ряд вузлів вертикально-фрезерного верстата, в тому числі, механізм затиску інструмента, шпиндельний вузол.

Розроблені заходи і виконані розрахунки по охороні праці і техніки безпеки, підтверджуючи ефективність вибраних рішень.

## Література

1. Методичні вказівки (№7) і контрольні завдання по курсу “Металорізальні верстати” К: “КПІ” 1987 р.
2. Г. А. Тарзиманов. Проектування металоріжучих верстатів, М: «Машинобудування» 1980 р. – 295 с.
3. В. А. Лещенко. Верстати з числовим програмним керуванням. М: «Машинобудування» 1988р. – 568 с.
4. В. Е. Пуш. Конструювання металоріжучих верстатів. М: «Машинобудування» 1982 р. – 389 с.
5. В. И. Анурьев Довідник конструктора машинобудівника, III том, М: «Машинобудування» 1980 р. – 559 с.
6. Н. Ф. Киркач, Р. А. Баласанян Розрахунок і проектування деталей машин, Мінськ: «Найвища школа» 1991 р. – 276 с.
7. А. Г. Батурін, Г. М. Іцкевич, Б. Б. Панич Деталі машин М: «Машинобудування» 1966 р. – 467 с.
8. А. С. Проніков «Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів». Вид. 2-ге, - М: «Вища Школа» 1968 р. – 431 с.
9. [http://stanki-katalog.ru/sprav\\_gf2171.htm](http://stanki-katalog.ru/sprav_gf2171.htm)
10. <http://www.stanoktehpasport.ru/gf2171-frezernyy-standok>
11. <https://knuth-industry.ru/catalog/frezernye-stanki/frezernye-stanki-s-chpu/portalnye-frezernye-sentri/portal-1810-портальный-обработывающий-центр-с-чпу/>
12. <https://stanok.guru/metallrobrabotka/frezernye-raboty/frezy-po-metallu-osnovnye-vidy-i-ih-prednaznachenie.html>
13. Tungaloy General Catalog 2018/2019
14. [www.rinscom.com](http://www.rinscom.com)
15. [www.secotools.com](http://www.secotools.com)
16. NUTEX tools circular saw blades side milling cutters
17. <http://taegutec.com.ua/pdf/catalog-2017/TTU-2017-frezernyj-instrument.pdf>
18. НПО НИКА СЕРВИС КАТАЛОГ ПО ИНСТРУМЕНТУ 2011 г.

## Додатки

## Додаток А

Програма обробки деталі «Шпангоут» в середовищі HeidenHain TNC640

```

0 BEGIN PGM ROMAN MM
1 BLK FORM 0.1 Z X+0 Y+0 Z-30
2 BLK FORM 0.2 X+150 Y+90 Z+0
3 TOOL CALL 10 Z S1000 F250
4 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX M3
5 CYCL DEF 14.0 KONTUR
6 CYCL DEF 14.1 METKA KONTURA1
7 CYCL DEF 20 DANNYJE KONTURA ~
  Q1=-2.8 ;GLUBINA FREZEROWANIA ~
  Q2=+1 ;PEREKRITIE TRAEKTOR. ~
  Q3=+0.5 ;PRIPUSK NA STORONU ~
  Q4=+0.5 ;PRIPUSK NA GLUBINU ~
  Q5=+0 ;KOORD. POVERHNOSTI ~
  Q6=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~
  Q7=+50 ;BEZOPASNAYA VYSOTA ~
  Q8=+0 ;ROUNDING RADIUS ~
  Q9=+1 ;ROTATIONAL DIRECTION
8 CYCL DEF 22 CHERN.OBRABOTKA ~
  Q10=-0.5 ;GLUBINA WREZANJA ~
  Q11=+150 ;PODACHA NA WREZANJE ~
  Q12=+500 ;FEED RATE F. ROUGHNG ~
  Q18=+0 ;INST.CHER.OBR. ~
  Q19=+0 ;FEED RATE FOR RECIP. ~
  Q208=+99999 ;PODACHA WYCHODA ~
  Q401=+100 ;FEED RATE FACTOR ~
  Q404=+0 ;FINE ROUGH STRATEGY
9 CYCL CALL

```



10 CYCL DEF 14.0 KONTUR

11 CYCL DEF 14.1 METKA KONTURA2

12 CYCL DEF 20 DANNYJE KONTURA ~

Q1=-21.9 ;GLUBINA FREZEROWANIA ~

Q2=+1 ;PEREKRITIE TRAEKTOR. ~

Q3=+0.5 ;PRIPUSK NA STORONU ~

Q4=+0.5 ;PRIPUSK NA GLUBINU ~

Q5=-2.8 ;KOORD. POVERHNOSTI ~

Q6=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~

Q7=+50 ;BEZOPASNAYA VYSOTA ~

Q8=+0 ;ROUNDING RADIUS ~

Q9=+1 ;ROTATIONAL DIRECTION

13 CYCL DEF 22 CHERN.OBRABOTKA ~

Q10=-1.5 ;GLUBINA WREZANJA ~

Q11=+150 ;PODACHA NA WREZANJE ~

Q12=+500 ;FEED RATE F. ROUGHNG ~

Q18=+0 ;INST.CHER.OBR. ~

Q19=+0 ;FEED RATE FOR RECIP. ~

Q208=+99999 ;PODACHA WYCHODA ~

Q401=+100 ;FEED RATE FACTOR ~

Q404=+0 ;FINE ROUGH STRATEGY

14 CYCL CALL

15 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX

16 TOOL CALL 239 Z S1000 F300

17 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX

18 CYCL DEF 200 SWERLENIIJE ~

Q200=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~

Q201=-15 ;GLUBINA ~

Q206=+150 ;PODACHA NA WREZANJE ~

Q202=+5 ;GLUBINA WREZANJA ~

Q210=+0 ;WYDER. WREMENI WWER. ~  
 Q203=+0 ;KOORD. POVERHNOСТИ ~  
 Q204=+50 ;2-YE BEZOP.RASSTOJ. ~  
 Q211=+0 ;WYDER.WREMENI WNIZU ~  
 Q395=+0 ;DEPTH REFERENCE  
 19 L X+135 Y+25 M99  
 20 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX  
 21 TOOL CALL 239 Z S700 F300  
 22 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX  
 23 CYCL DEF 201 RAZWIORTYWANIE ~  
 Q200=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~  
 Q201=-15 ;GLUBINA ~  
 Q206=+150 ;PODACHA NA WREZANJE ~  
 Q211=+0 ;WYDER.WREMENI WNIZU ~  
 Q208=+99999 ;PODACHA WYCHODA ~  
 Q203=+0 ;KOORD. POVERHNOСТИ ~  
 Q204=+50 ;2-YE BEZOP.RASSTOJ.  
 24 L X+135 Y+25 M99  
 25 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX  
 26 LBL 1  
 27 L X+20 Y+110 RL  
 28 L Y+90  
 29 CC IX+25.4 Y+90  
 30 C IX+25.4 IY-25.4 DR+  
 31 L X+70.8  
 32 CC X+70.8 Y+90  
 33 C X+96.2 Y+90 DR+  
 34 L Y+110  
 35 L X+20  
 36 LBL 0

37 LBL 2

38 L X+20 Y+90 RL

39 L Y+75

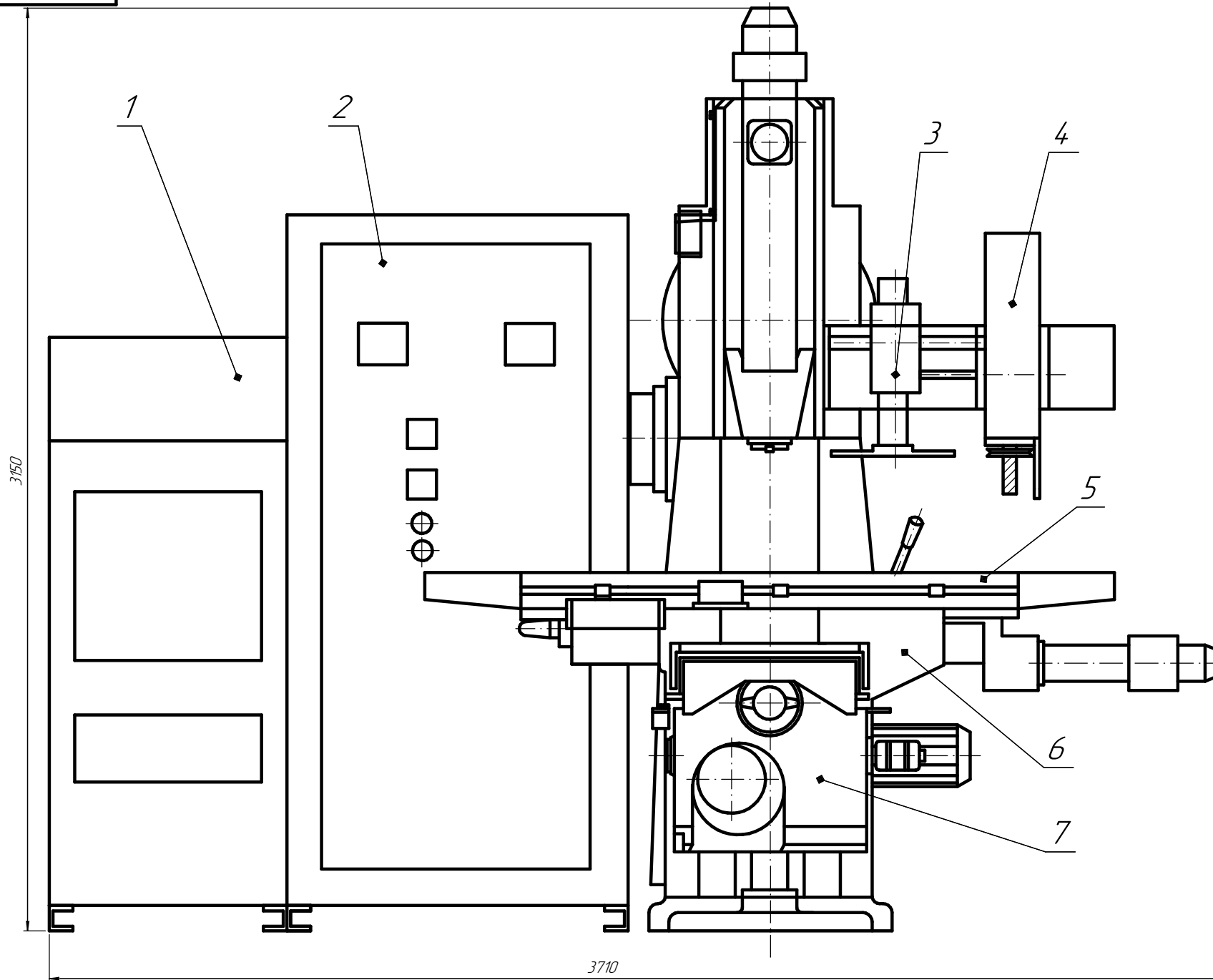
40 L X+96.2

41 L Y+110

42 L X+20

43 LBL 0

44 END PGM ROMAN MM



Технічні характеристики:

Клас точності верстата – Н

Разміри робочої поверхні:

довжина - 1600 мм;  
ширина - 400 мм.

Найдібільше переміщення стола:  
 поздовбжнє – 1000 мм;  
 поперецьнє – 400 мм;  
 вертикальне – 250 мм.

Найдільше переміщення повзуна – 260 мм

Шпindel з конусністю 7:24

Межі частот обертання шпинделя – 40 .. 2000 об/хв

Кількість частот обертання шпинделя – 18

Найбільший крутний момент на шпинделі – 0,615 кН

Електродвигун 4АМ1324УЗ

потужність – 7,5 кВт

Допустиме зусилля подачі – 16 кН

Інструментальних гнізд в магазині – 12

Найбільша маса оброблюваної деталі – 400 кг

*Гадаруми верстата:*

довжина - 3710 мм;

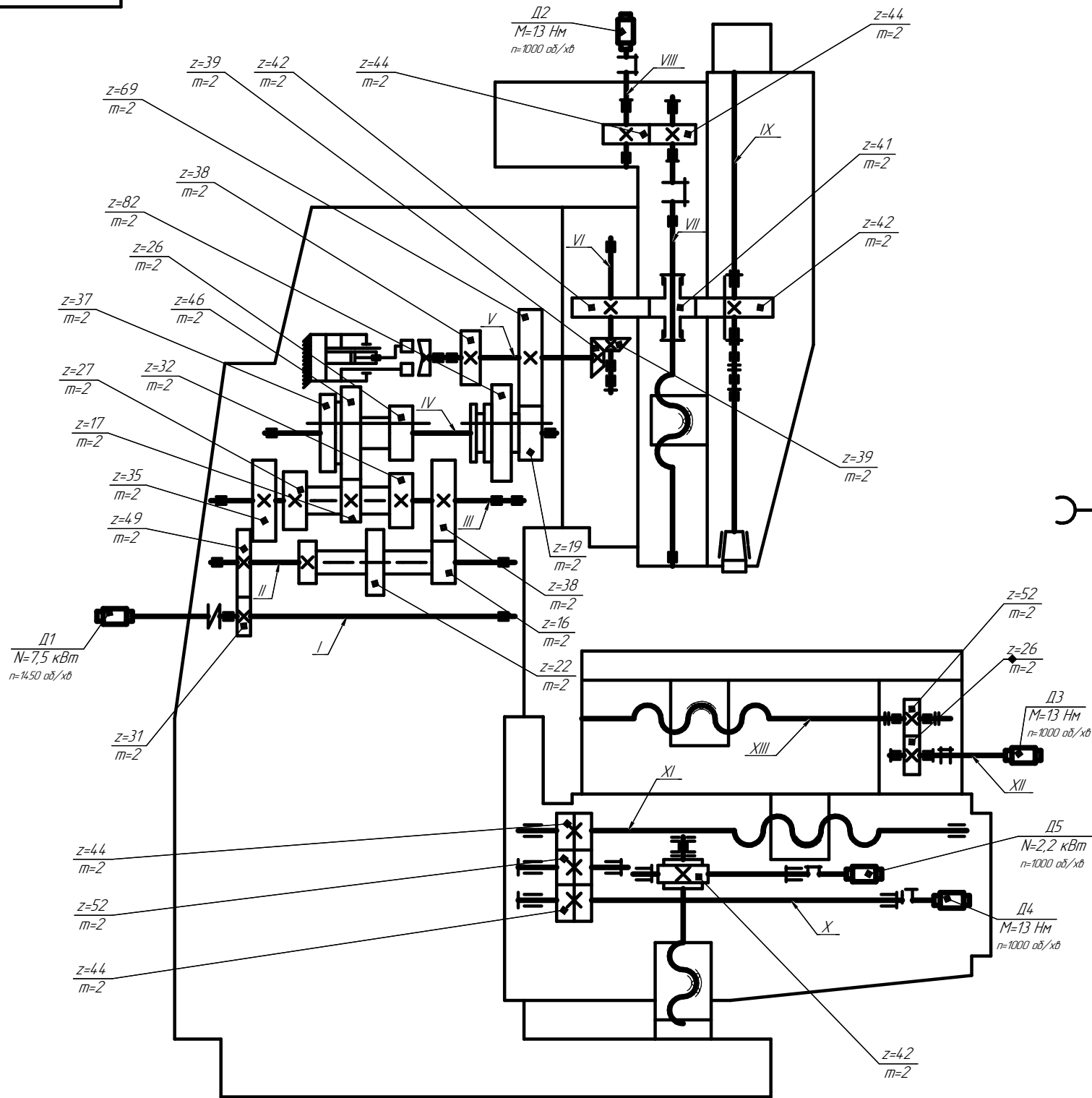
ширина – 4010 мм;

*bucota - 3150 mm.*

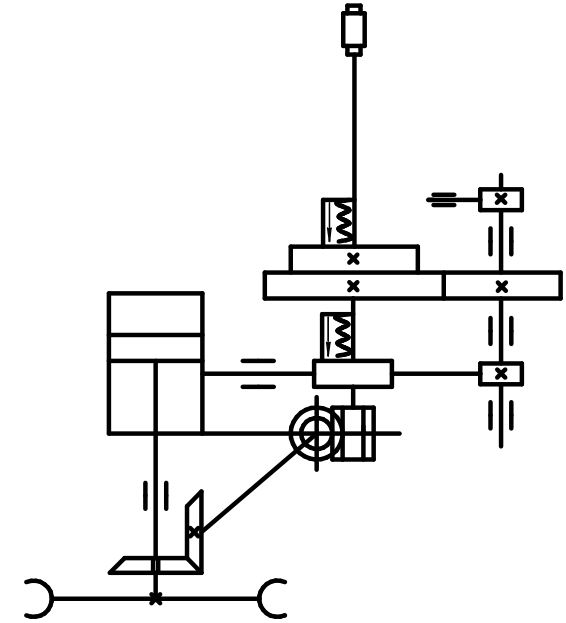
Маса верстата – 5000 кг

*Тун проекту 4ПК – фирму Heidenhain і TNC 530*

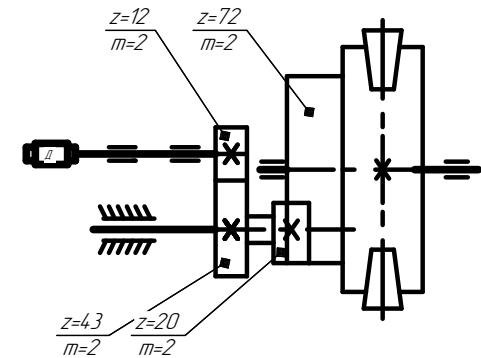
[illegible]



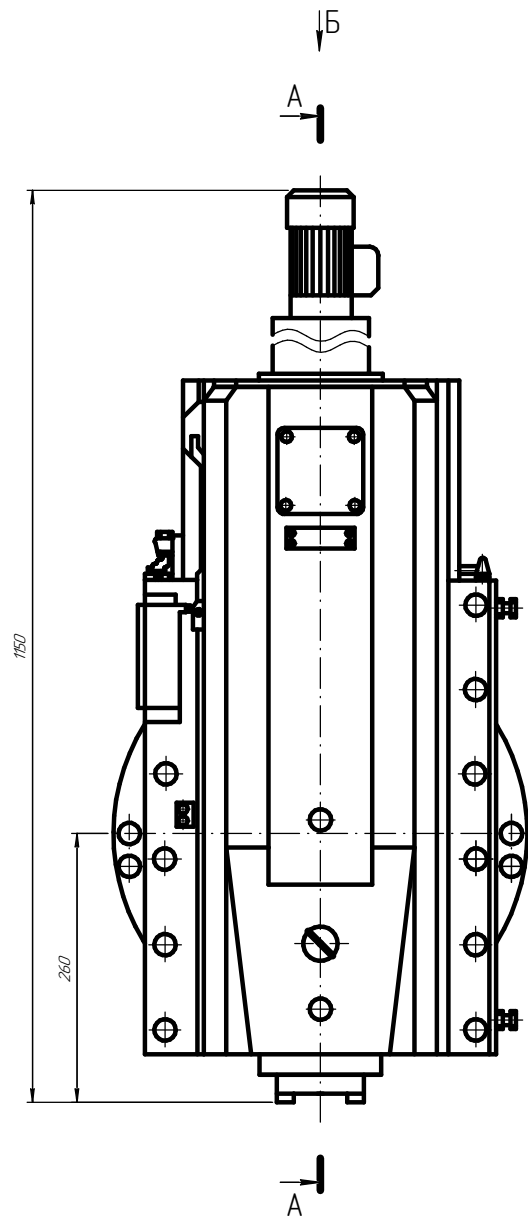
## Автоматизатор



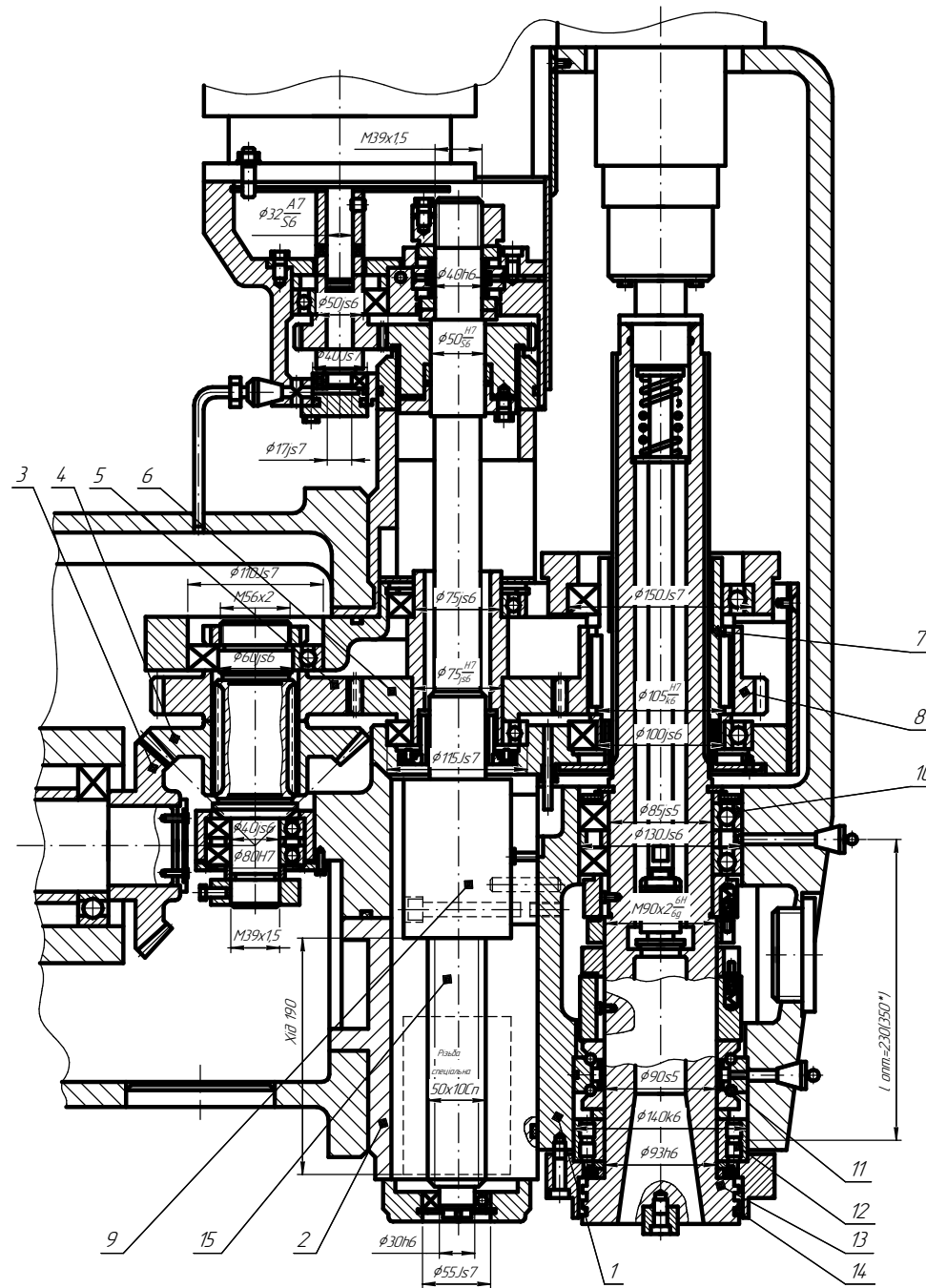
## Инструментальный магазин



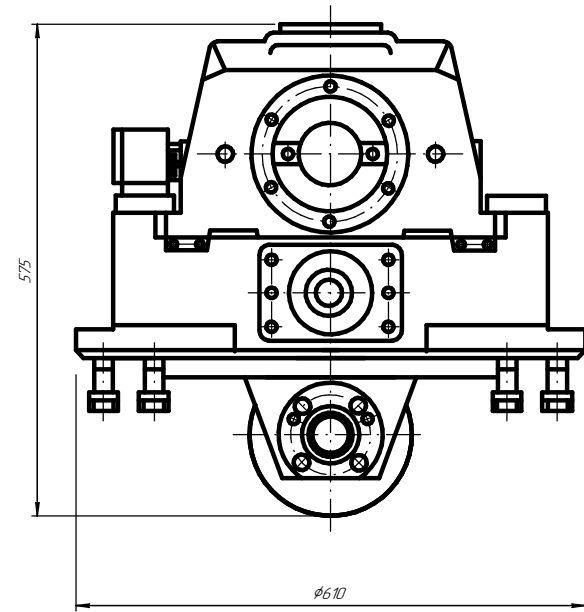
МВ-8111м.МД202.000 КЗ									
Исполн.	Провер.	Утверд.	Дата	Лист	Масштаб	Масштаб	Масштаб	Масштаб	Масштаб
В. М.	В. М.	В. М.	В. М.	В. М.	В. М.	В. М.	В. М.	В. М.	В. М.
Верстак ГФ2171						КПД им. Издрия (Кировского)			
Схема кинематична						ММД МВ-81м			
принципа									



A-A(1:2)



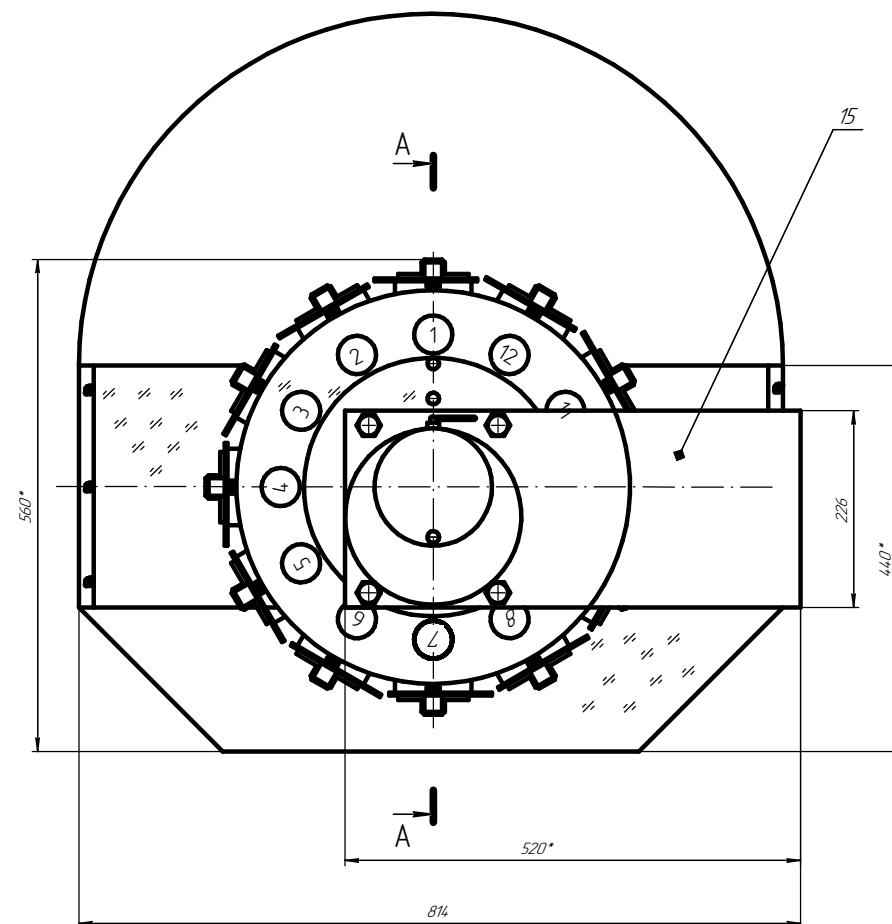
Б



1. Підшипники шпинделя і порожнини їх розташування заповнити мастилом ОКБ 122-7 (ЛКС-2).
2. Допустиме радіальне биття шпинделя 0,008 мм, на відстані L=300 мм. – 0,016 мм, а осьове биття – 0,008 мм.

МВ-8111мМД205.000 СК										Лист		
Вид	Мас	№ докум	Розр	Взам	Лист	Взам	Лист	Взам	Лист	Шпиндельний вузол		
Розроб	Станок	0.14	Лист	Взам	Лист	Взам	Лист	Взам	Лист	12		
Лист	Взам	В.А.	Лист	Взам	Лист	Взам	Лист	Взам	Лист	1		
Лист	Взам	Лист	Взам	Лист	Взам	Лист	Взам	Лист	Взам	КПІ ім. Ізидора Сікорського		
Лист	Взам	Лист	Взам	Лист	Взам	Лист	Взам	Лист	Взам	ММД МВ-8111м		

Technical drawing of a mechanical assembly in cross-section, showing internal components and dimensions. The drawing includes a vertical section on the left and a horizontal section on the right. Key dimensions include diameters (e.g., 45.50, 44.00, 50H6/s5, 60J5/s7, 80H7/f7, 45H7/f7, 80J5, 20H7, 70H7, 20H6, 98), a taper (Конусность 7:24), and various fit specifications (e.g., 8.8, 18.8, 52, 11, 360). Numbered callouts (1-14) point to specific parts of the assembly.

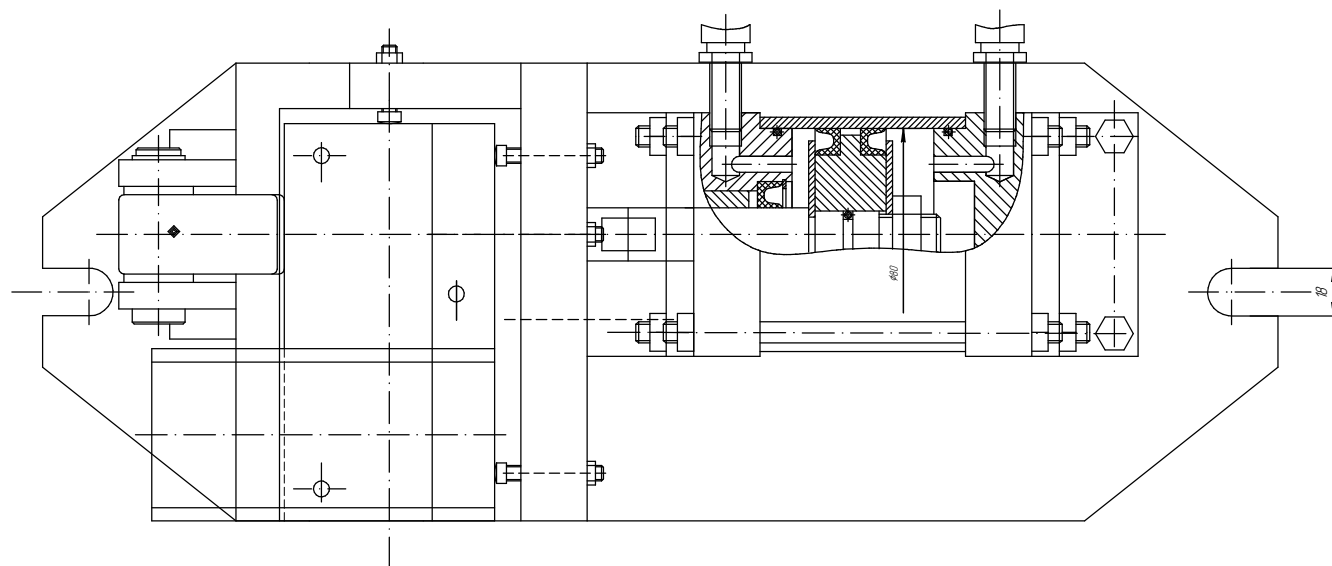
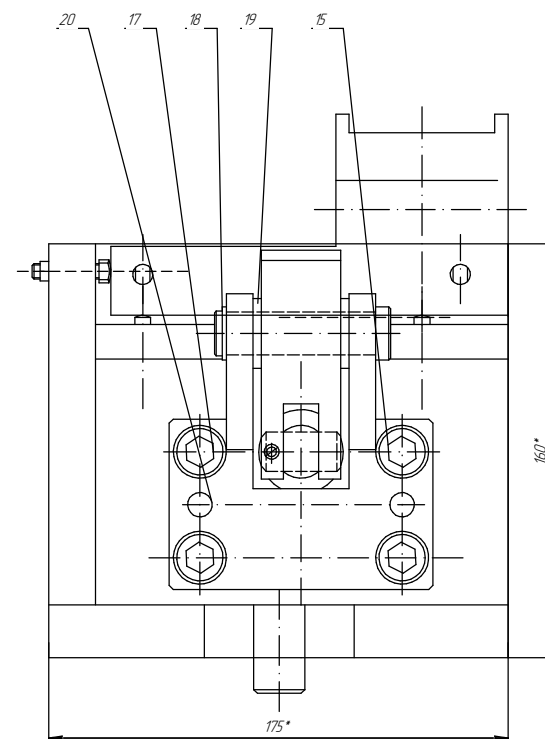
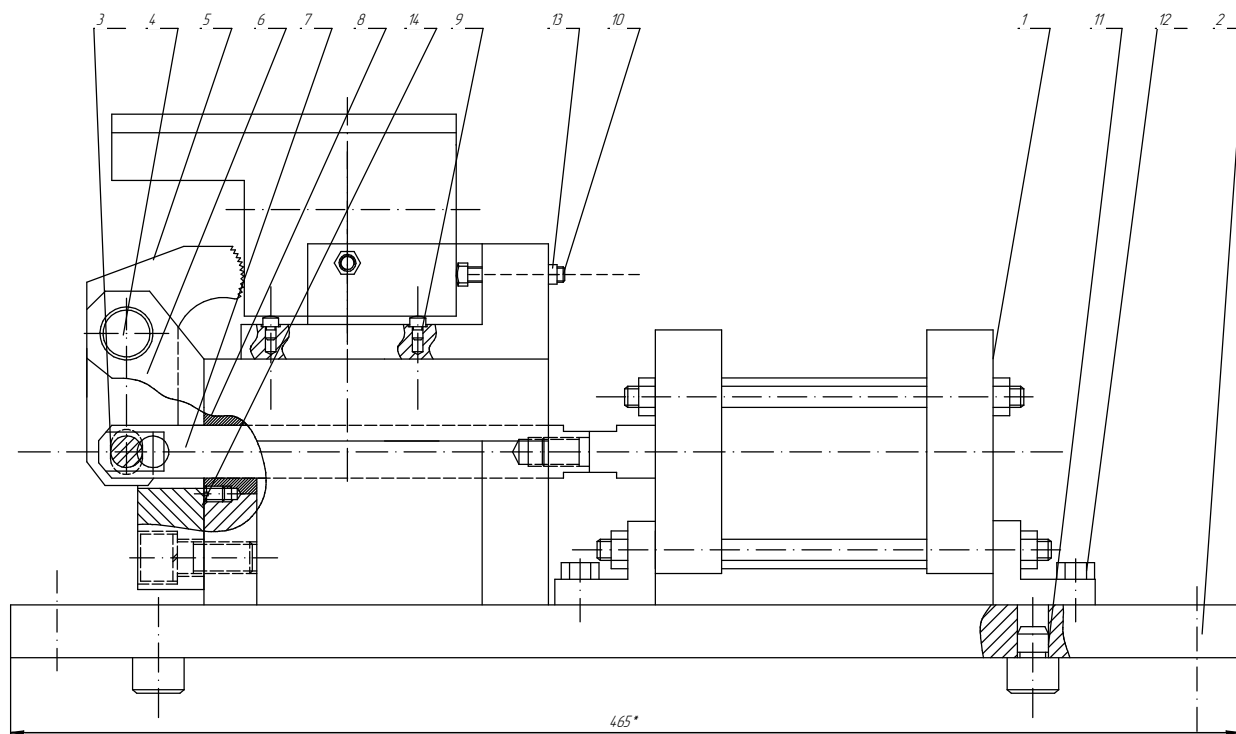


\*Розміри для довідок

						МВ-8114мМ203.000 СК		
Сл.	Диск	ММ	Диск	Полн	Винт	Дат	Масл	Маслощит
Защит	Ремонт	О. П.				В		11
Прав	Кабель	В.А.						
Г. изобр						Дат	Винт	Г
О. изобр								
Зам								
						Инструментальный магазин		
						Складские кресления		
						КП им. Гвар. Сиверского ММ МВ-814п		



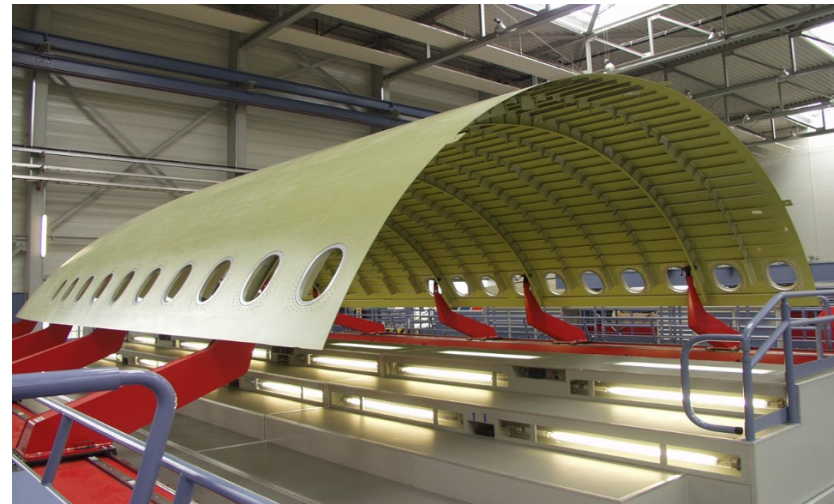
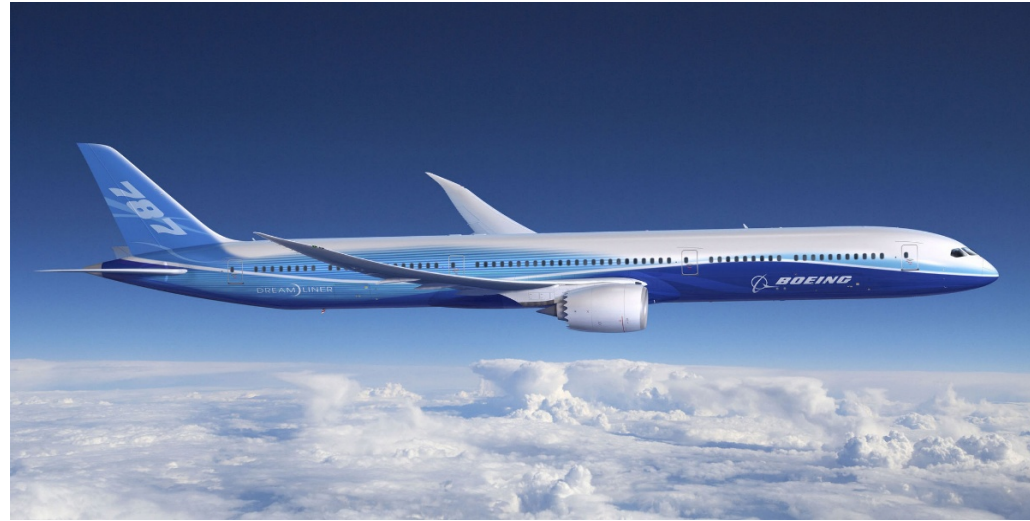




1. \* Розміри для довідок.

					МВ-8111мп.МД.206.000 3В		
Д.	В.	Г.	Д.	В.	Пристосування для обробки площини та отворів (операція 005)		
В.	В.	В.	В.	В.			
В.	В.	В.	В.	В.	КТІ ім. І. Сікорського ММЛ МВ-811мп		
В.	В.	В.	В.	В.	11		

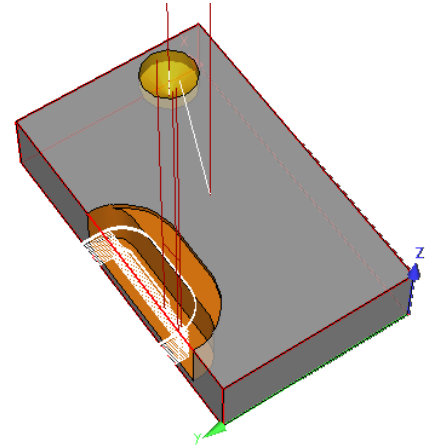
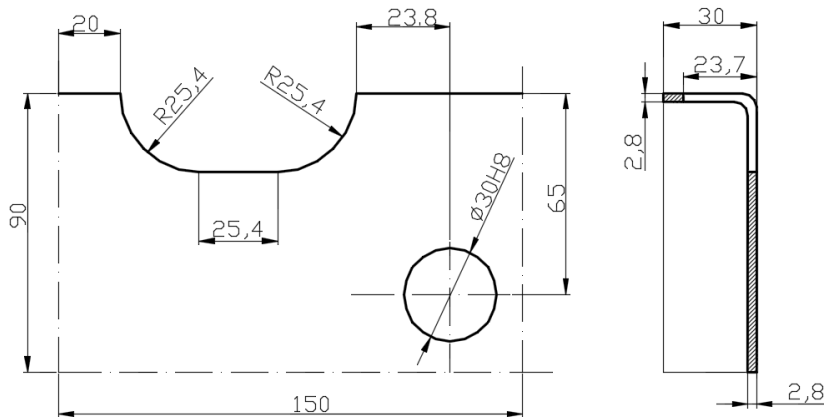
## Використання деталі “шпангоут” в літакобудуванні



Розробив: \_\_\_\_\_ | Роман О. М. |

Керівник: \_\_\_\_\_ | Ковальов В. А. |

# Програма обробки фрагменту деталі «                    » в середовищі HeidenHain TNC640



```

0 BEGIN PGM ROMAN MM
1 BLK FORM 0.1 Z X+0 Y+0 Z-30
2 BLK FORM 0.2 X+150 Y+90 Z+0
3 TOOL CALL 10 Z S1000 F250
4 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX M3
5 CYCL DEF 14.0 KONTUR
6 CYCL DEF 14.1 METKA KONTURA1
7 CYCL DEF 20 DANNYJE KONTURA ~
8 CYCL DEF 22 CHERN.OBRABOTKA ~
9 CYCL CALL
10 CYCL DEF 14.0 KONTUR
11 CYCL DEF 14.1 METKA KONTURA2
12 CYCL DEF 20 DANNYJE KONTURA ~
13 CYCL DEF 22 CHERN.OBRABOTKA ~
14 CYCL CALL
15 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX
16 TOOL CALL 239 Z S1000 F300
17 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX
18 CYCL DEF 200 SWERLENJE ~
19 L X+120 Y+25 M99
20 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX
21 TOOL CALL 239 Z S700 F300
22 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX
23 CYCL DEF 201 RAZWIORTYWANIE ~
24 L X+120 Y+25 M99
25 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX
26 LBL 1
27 L X+20 Y Y+110 RL
28 L Y+90
29 CC IX+25.4 Y+90
30 C IX+25.4 IY-25.4 DR+
31 L X+70.8
32 CC X+70.8 Y+90
33 C X+96.2 Y+90 DR+
34 L Y+110
35 L X+20
36 LBL 0
37 LBL 2
38 L X+20 Y+90 RL
39 L Y+75
40 L X+96.2
41 L Y+110
42 L X+20
43 LBL 0
44 END PGM ROMAN MM
    
```

Вибір заготовки

Обробка фрезою кінцевою  
Ø20мм контура 1

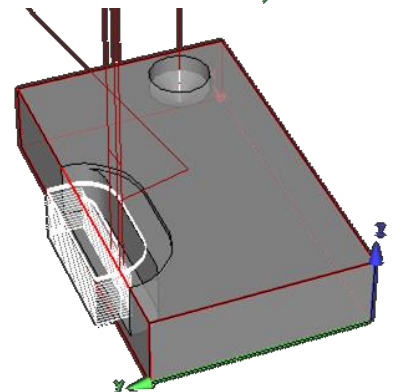
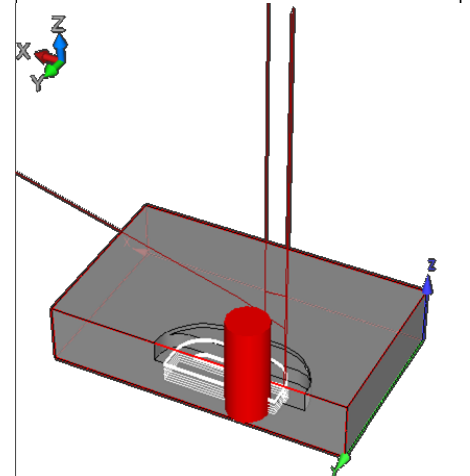
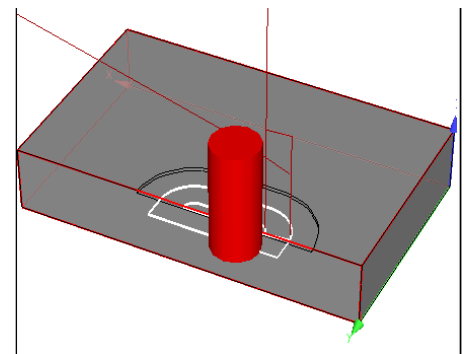
Обробка фрезою кінцевою  
Ø20мм контура 2

Обробка сверлом  
спіральним Ø29,8мм,

Обробка розверткою  
Ø30мм

Параметри контура 1

Параметри контура 2



Висновок: Складена програма обробки деталі «                    ».  
Час обробки складає 11,47хв.